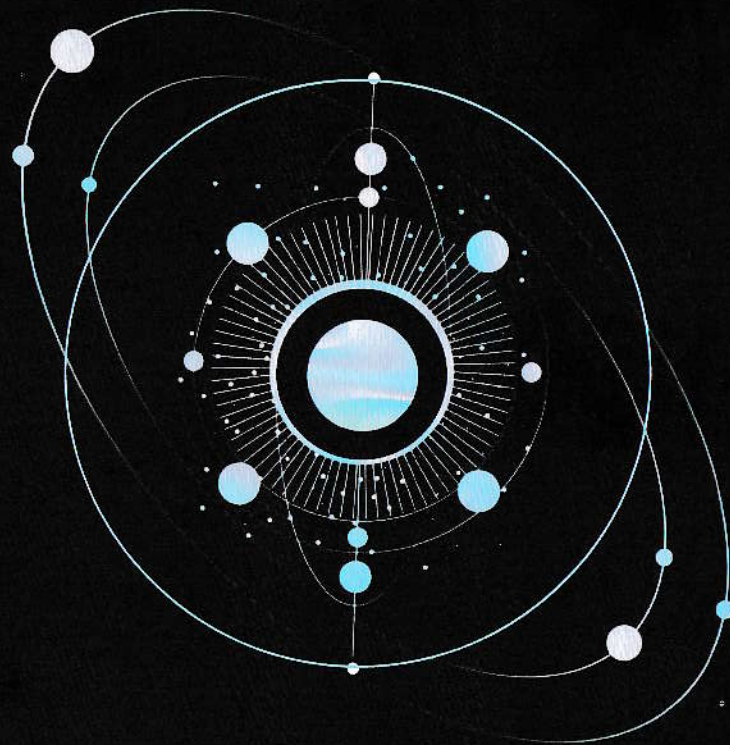


A.M.TILLABOYEV, SH.E.NURMAMATOV, A.I.RAJAPOVA

ASTRONOMIYA KURSI

UMUMIY ASTRONOMIYA



O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY TA'LIM,
FAN VA INNOVATSIYALAR VAZIRLIGI

CHIRCHIQ DAVLAT PEDAGOGIKA UNIVERSITETI

A.M.TILLABOYEV, SH.E.NURMAMATOV, A.I.RAJAPOVA

ASTRONOMIYA KURSI
(UMUMIY ASTRONOMIYA)

*(60110700 – Fizika va astronomiya ta'lim yo'nalishi
talabalari uchun o'quv qo'llanma)*

— 1474/20 —

O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY TA'LIM,
FAN VA INNOVATSIYALAR VAZIRLIGI
CHIRCHIQ DAVLAT PEDAGOGIKA UNIVERSITETI
AXBOROT RESURS MARKAZI

UO'K 520;37.0

KBK 22.6

T-22

A. M. Tillaboyev, Sh. E. Nurmetov, A. I. Rajapova /
Astronomiya kursi / O'quv qo'llanma - Toshkent: «Yangi chirchiq prints»,
2023. – 251 bet.

Mazkur o'quv qo'llanma pedagogika oliy ta'lim muassasalari
"60110700-Fizika va astronomiya" ta'lim yo'nalishi talabalari uchun
mo'ljallangan bo'lib, unda "Astronomiya kursi" ning asosiy mazmuni o'z
aksini topgan. O'quv qo'llanmada "Sferik astronomiya asoslari", "Amaliy
astronomiya asoslari", "Osmon mexanikasi elementlari, Sayyoralar harakati",
"Astrofizika tushunchalari", "Quyosh va yulduzlarning fizik xususiyatlari",
"Galaktikalar, Kosmologik modellar" kabi ma'lumotlar bilan boyitilgan. Ushbu
o'quv qo'llanmaning maqsadi – bo'lg'usi fizika va astronomiya fanlari
o'qituvchilarida bilim, ko'nikma, malaka, fanga oid va ilmiy-tadqiqotchilik
kompetensiyalarini rivojlantirishdan iborat.

Taqrizchilar:

M.Dusmuratov – ChDPU Fizika va astronomiya o'qitish metodikasi
kafedrası dotsenti, PhD.

F.O.Dadaboyeva – Qo'qonDPI Fizika va astronomiya kafedrası dotsenti,
PhD

O'quv qo'llanma Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligining 2023-yil
25-avgustdagi 391-sonli buyrug'iga asosan nashrga ruxsat etilgan.
(Guvohnoma № 260591)

ISBN 978-9910-751-85-1

© A. M. Tillaboyev, Sh. E. Nurmetov, A. I. Rajapova 2023 ©

«Yangi chirchiq prints», 2023

MUNDARIJA

KIRISH	5
Astronomiya kursiga kirish.....	5
I BOB. SFERIK ASTRONOMIYA ASOSLARI	15
1.1-§. Yulduzlar osmoni va uning aylanishi.....	15
1.2-§. Astronomik koordinatalar sistemasi.....	19
1.3-§. Turli geografik kenglamalarda osmon sferasining sutkalik va yillik ko'rinma aylanishi.....	23
1.4-§. Sferik uchburchak va uning asosiy formulalari.....	26
II BOB. AMALIY ASTRONOMIYA ASOSLARI	32
2.1-§. Yoritgichlarning kulminatsiyasi va kulminatsiya balandliklari.....	32
2.2-§. Vaqtni o'lchash asoslari.....	33
2.3-§. Mahalliy va Dunyo vaqtlari. Poyas va dekret vaqtlari. Ular orasida bog'lanish.....	36
2.4-§. Kalendarlar.....	39
III BOB. OSMON MEXANIKASI ELEMENTLARI: SAYYORALAR HARAKATI.....	43
3.1-§. Planetalarning konfiguratsiyalari, siderik va sinodik davrlari. Kepler qonunlari.....	43
3.2-§. Yoritgichlarning sutkalik va gorizontal paralliksini hisoblash.....	49
3.3-§. Butun olam tortishish qonuni ikki jism masalasi. Kosmik tezliklar.....	52
3.4-§. Oy harakati va fazalari.....	59
IV BOB. ASTROFIZIKA TUSHUNCHALARI VA TELESKOPLAR.....	66
4.1-§. Astrofizik metodlar.....	66
4.2-§. Astrofizik instrumentlar.....	68
4.3-§. Dunyoning yirik astronomik observatoriyalari.....	75
4.4-§. Astrometriya haqida tushuncha. Ko'rinma yulduz kattaligi.....	79
V-BOB. QUYOSH VA UNING FIZIK XUSUSIYATLARI	90
5.1-§. Quyosh haqida umumiy ma'lumot.....	90
5.2-§. Quyoshning ichki tuzilishi. Uning yadroviy energiya manbai. Quyosh aktivligi va uning Yerga ta'siri.....	92
5.3-§. Yer-Oy tizimi. Yerning fizik tabiati. Yer tipidagi sayyoralar.....	104
5.4-§. Gigant sayyoralarning fizik tabiatlari. Ularning yo'ldoshlari va halqalari.....	120
5.5-§. Quyosh sistemasidagi kichik jismlar. Mayda planetalar.....	125
VI BOB. YULDUZLAR FIZIKASI ASOSLARI	139
6.1-§ Normal yulduzlar.....	139
6.2-§ Yulduzlarning spektral sinflari.....	141
6.3-§. Spektr-yorqinlik diagrammasi.....	143
6.4-§. Yulduzlar massasi.....	145
6.5-§. Yulduzlar o'lchamlarini aniqlash. Massa-yorqinlik-radius bog'liqligi.....	146
6.6-§. Yulduzlarning ichki tuzilishi.....	149
6.8-§. O'zgaruvchan yulduzlar.....	170

6.9-§. Yangi va o'tayangi yulduzlar.....	176
VII-bob. GALAKTIKA ASTRONOMIYASI ASOSLARI.....	179
7.1-§. Somon Yo'li Galaktikasi va uning ichki tuzilishi.....	179
7.2-§. Galaktikamizning tashkil etuvchilari.....	181
7.3-§. Quyosh sistemasining xarakati.....	185
7.4-§. Yulduzlarning tarqoqsimon va sharsimon to'dalari.....	187
7.5-§. Galaktikaning aylanishi. Yulduzlararo chang va gaz. Spiral tarmoqlar.....	190
7.6-§. Spiral tarmoqlar.....	194
VIII-bob. GALAKTIKADAN TASHQI ASTRONOMIYA.....	199
8.1-§. Galaktikalarining Xabbl klassifikatsiyasi.....	199
8.2-§. Galaktikalarining maxalliy guruhi.....	203
8.3-§. Galaktikalargacha masofalarni aniqlash usullari.....	206
8.4-§. Galaktikalar to'dalari.....	209
8.5-§. Aktiv galaktikalar yadrosi.....	211
IX BOB. KOSMOGONIYA VA KOSMOLOGIYA.....	217
9.1-§. Kosmogoniya va kosmologiya: asosiy muammolar.....	217
9.2-§. Quyosh sistemasining vujudga kelishi va evolyutsiyasi.....	218
9.3-§. Gigant va Yer tiplaridagi sayyoralarning kelib chiqishi.....	222
9.4-§. Yulduzlar kosmogoniyasi.....	223
9.5-§. Galaktikalarining vujudga kelishi.....	227
9.6-§. Kosmologik prinspl va Koinot modellari.....	229
9.7-§. Relyativistik astrofizika.....	235
9.8-§. Koinot vujudga kelishi va evolyutsiya bosqichlari.....	237
9.9-§. Koinot modeli va tuzilishi.....	240
GLOSSARIY.....	246
FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR.....	250

KIRISH

Astronomiya kursiga kirish

Astronomiya predmeti, bo'limlari va boshqa fanlar bilan aloqadorligi.

Astronomiya (yunoncha *αστρονομία* so'zidan olingan bo'lib, u *στήρ*, *στρον* (aster, astron) yulduz va *νόμος* (nomos) qonun degan ma'noni bildiradi) – Koinot jismlari va ular sistemalarining fizik holati hamda tarkibini, ko'rinma va haqiqiy harakatini, paydo bo'lishi, tuzilishi va evolutsiyasini o'rganuvchi fanidir. U eng qadimiy fanlardan biri bo'lib, insonning moddiy hayot talablari asosida paydo bo'lgan va rivojlanib kelgan. Odamlar juda qadim zamonlardayoq osmon jismlari, jumladan, Quyosh, Oy va sayyoralarning harakatlari o'rganib, Yerda fasllar almashinuvi, Oy fazalari, hatto tutilishlarni ham oldindan bilishgacha erishganlar. Kromanon odamlariga tegishli suyaklar topilgandan keyin ma'lum bo'lishicha, ularda 30000 yil avval Oy fazalari aks ettirilgan o'yilmalar borligi aniqlangan. Boshqa tomondan, qishloq ho'jaligi ishlari uchun yil fasllarini kelish muddatlarini bilish o'ta muhim bo'lgan. Shuningdek, diniy marosimlar va bashoratlar osmon jismlarining joylashishlariga asoslangan holda aniqlangan. Shular orqali o'lchaslar aniqligi oshib borgan va odamlar osmon jismlarining harakatini oldindan hisoblab berishni o'rganib olishgan.

Fan sayyoralar va ularning yo'ldoshlarini, Quyosh va yulduzlarni, sayyoralararo va yulduzlararo mayda jism (kometalar, asteroidlar va h.k.) larni, gaz va chang tumanliklarini, tabiiy va sun'iy yo'ldoshlar orbitalarini o'rganadi. Uning tadqiqotlari natijasida materiyaning yangi holatlari va fizik tabiati bilan noyob xususiyatlarga ega bo'lgan yangi obyektlari kashf qilinadi va o'rganiladi. Bunga misol tariqasida, pulsarlar, barsterlar, kvazarlar, lasertidalar, qora o'ralar, relikt nurlanish, gravitatsion to'lqinlar va boshqalarni aytib o'tish mumkin.

Qator fundamental fanlarning (fizika, matematika, mexanika) rivojlanishida astronomiyaning hissasi kattadir. Astronomiyaning bir necha bo'limlari xalq xo'jaligi rivojlanishida ham katta ahamiyatga ega. Masalan, suv kemalarda suzish davrida, kemalarning port va qirg'oqlardan uzoqlashishi kattalashgan. Shunda kemanding joylashishini aniqlash masalasi katta muammolarni tug'dirgan. Astronomlar bu muammoni hal etishda amaliy yechimlarni taklif qilishgan. Ushbu masalalarning yechilishi XVII-XVIII asrlarda astronomiyaning eng dolzarb masalalaridan biri bo'lib kelgan. O'sha vaqtlarda sayyora va boshqa osmon jismlarining harakat jadvallari chop etilgan. Jadvallar Kopernik, Brage, Kepler, Galiley va Nyutonlar tomonidan ochilgan sayyoralarning harakat qonunlariga asoslangan.

Astronomik tadqiqotlar rivojlanishi odamlarning dunyoqarashini, fikrlarini geosentrik, antroposentrik konsepsiyalardan zamonaviy qarashlar tomoniga o'zgartirgan. Cheksiz Koinotda odam va Yer o'ta kichik rolni o'ynashini tushunishgan. Astronomiya insonga tabiatdagi real masshtablarni anglab olishni o'rgatgan. Astronomik usullar bilan Yerdagi yoki fazodagi

istalgan joyning aniq koordinatlarini topish, vaqtni aniqlash, Yerning o'z o'qi atrofida aylanishining notekisliklarini berib borish, kuzatuvchi turgan joyning harakatini tekshirib, zilzilalar qonuniyatini o'rganish, kosmik apparatlar harakatiga Quyosh sistemasi jismlarining ta'sirini hisoblab bera olish, ularni yulduzlarga nisbatan oriyentirlash kabi qator ishlarni misol tariqasida keltirish mumkin.

Tabiiy fanlar ichida boshqa fanlardan farqli ravishda astronomlar osmon jismlari bilan bevosita tajribalar o'tkazish imkoniga ega emaslar. Shundan kelib chiqib, astronomiya fani kuzatish fani deyiladi, chunki osmon jismlarining tabiatiga tegishli barcha xulosalar, asosan, kuzatish materiallarini o'rganish yordamida olinadi. Bu sohada oxirgi yillarda kosmik kuzatishlar va sun'iy yo'ldoshlarning hissasi oshishiga qaramay, kuzatuvlarning aksariyat qismi Yerda joylashgan observatoriyalarda olinadi. Yaxshi observatoriyalar odatda baland tog' tepaliklarida joylashadi.

Koinotdagi obyektlarni o'rganishda fan o'z oldiga asosan quyidagi vazifalarni qo'yadi:

- Koinot obyektlarining fazodagi ko'rinma holati va harakatlarini, bu ma'lumotlar asosida ularning haqiqiy harakatlarini o'rganish, ulargachamasofalarni, ular o'lchamlari hamdamassalarini aniqlash;

- Koinot jismlarining ichki va tashqi tuzilishini, kimyoviy tarkibini, ulardagi fizik sharoitlarini tadqiq etish;

- Koinot obyektlari va ular sistemalarining kelib chiqishi va evolyusiyasini o'rganish.

Ko'rinma holat va harakatlariga tegishli masalalar juda qadimdan o'rganila boshlangan. Ayniqsa, osmon mexanikasining asosiy qonunlari Kepler va Nyuton tomonidan kashf etilgandan so'ng bu sohada katta yutuqlarga erishildi.

Koinotdagi jismlarning fizik tabiatini tadqiq etish uncha katta bo'lmagan davr ichida amalga oshirilib, asosan oxirgi bir necha o'n yillar ichida bu sohada yangi usullarni qo'llash va quvvatli teleskoplarning ishga tushirilishi evaziga muhim va salmoqli natijalar qo'lga kiritilgan.

Oxirgi vazifa oldingi ikkita vazifalardan ham murakkabdir. Undagi masalalarning echilishi bir necha yuz yillar, hatto ming yillar davomida yig'ilgan materiallarni o'rganish, tahlil qilish bilan bog'liq. Shuning uchun ham hozircha bu sohadagi bilimlarimiz farazlar, taxminlar va gipotezalar bilan cheklanadi, xolos.

Astronomiya fundamental fan bo'lib, uning rivojlanishi birinchi navbatda odamning qiziqishi, tabiat va Koinot haqida yanada ko'proq ma'lumot olish istagi bilan asoslanadi. Astronomiya ilmiy dunyoqarashning rivojlanishida muhim ahamiyatga egadir.

Astronomiyaning zamonaviy bo'limlari. Zamonaviy astronomiya Koinotni yaxlit holda hamda uni tashkil etuvchi moddani turli shakldagi

energiyalar ko'rinishida o'rganadi. Astronomlar Koinot tarkibini elementar zarralar va molekulalardan (massalari 10^{-30} kg) boshlab gigant galaktikalar to'ldirilgacha (massalari 10^{50} kg) bo'lgan masshtablarda o'rganadi. Shu bois, astronomiya turli mezonlar bo'yicha har hil yo'nalishlarga bo'linishi mumkin. Bu bo'linish yoki qo'llaniladigan usullarga yoki olib boriladigan tadqiqot ob'yektlariga qarab olib boriladi. Masalan, yaqin-yaqinlargacha astronomiya 6 bo'limdan iborat edi. Hozirgi zamon astronomiya fani o'z taraqqiyoti natijasida bir-biri bilan chambarchas bog'liq bo'lgan quyidagi bo'limlardan tashkil topgan.

Astrometriya. Astrometriya ixtiyoriy osmon jismlari vaziyatlarini va xususiyl harakatlarini aniqlash, vaqtni o'lchash, Yerning o'z o'qi atrofida aylanishi, uning sirtidagi maxsus nuqtalar koordinatasini topish, bu ma'lumotlarni matematik yoki statistik tahlil qilish kabi masalalar bilan shug'ullanadi. Uning eng asosiy vazifalaridan biri fazoda koordinatlarning inersial sistemasini tuzishdan iborat. Astrometriyaning nazariy asosini sferik astrometriya yo'nalishi tashkil qiladi. Bundan tashqari, u fundamental, fotografik va meridian astrometriya tarmoqlariga ham ega bo'lib, ular amaliy astrometriyani tashkil qiladi. Ushbu tarmoqlar usullari geodeziya hamda dengiz va kosmik yo'ldosh navigasiyalarida keng qo'llanadi.

Osmon mexanikasi. Quyosh sistemasiga kiruvchi har qanday jismlar harakati, o'zaro ta'siri va orbitalarini o'rganuvchi bo'limga osmon mexanikasi deyiladi. Bu fan Yerning sun'iy yo'ldoshlari, kosmik apparatlar, sayyoralar va mayda jismlar xarakatlarining nazariyalarini yaratish, ushbu jismlar shakli, Quyosh sistemasining barqarorligi kabi masalalar bilan bevosita shug'ullanadi. Kosmonavtika dasturlari, rejalari va talablari oshib borgan sari osmon mexanikasi fani ham jadallik bilan rivojlanib bormoqda. Bugun unda turli tarmoqlar mustaqil rivojlanmoqda, masalan sayyoralar harakat nazariyasi, geostasionar harakat nazariyasi, asteroidlar harakat nazariyasi va boshqalar.

Astrofizika. Bu bo'lim zamonaviy astronomiyaning eng yirik va faol rivojlanayotgan bo'limi hisoblanib, Koinotning barcha jismlari fizik holati, spektri, tuzilishi, ichki qatlamlarida ro'y berayotgan jarayonlar tabiati va boshqa qator fizik xususiyatlarini o'rganadi. Astrofizika amaliy va nazariy qismlardan iborat. Birinchisi astrofizik kuzatuv va olingan ma'lumotlarini tahlil qilish usullarini ishlab chiqish, osmon jismlari va ular orasidagi muhitni kuzatish va ma'lumotlar bankini tuzish hamda tadqiqot natijasida yoritgichlarning fizik ko'rsatgichlarini aniqlash masalalari bilan shug'ullanadi. Nazariy astrofizika esa, Koinot jismlarida kuzatilayotgan fizik jarayonlarining tabiati va sabablarini tushintirib berib, obyekt modelini tuzadi hamda uning evolutsiya qonuniyatlarini o'rganadi.

Bugungi kunda astrofizikaning tadqiqot obyektlari va qo'llanadigan usullari turlicha bo'lgani tufayli u o'z navbatida bir qator ilmiy yo'nalishlardan tashkil topgan: Quyosh fizikasi; sayyoralar fizikasi; kichik jismlar fizikasi; o'zgaruvchan yulduzlar fizikasi; yulduzlar evolutsiyasi;

Galaktika astrofizikasi; yulduzlararo muhit fizikasi; plazma astrofizikasi; relativistik astrofizika; gamma nurlar astrofizikasi; rentgen astronomiyasi; ultrabinafsha astronomiya; infraqizil astrofizika; astrofotometriya; astropektroskopiya; galaktikalar fizikasi va boshqalar.

Yulduzlar (yoki Galaktika) astronomiyasi. Galaktikamizdagi yulduzlar, gaz-chang bulutlari hamda yulduz to'dalarining harakatlari, ularning fazoviy va fizik xarakteristikalari bo'yicha statistik taqsimoti, evolutsiyasi, beqarorligi kabi masalalar bilan yulduzlar astronomiyasi bo'limi shug'ullanadi. Bu bo'lim mustaqil ravishda shakllangan davrda hali bizning Galaktikamiz tuzilishi va evolutsiyasiga oid jiddiy natijalar qo'lga kiritilmagan, yechilmagan savollar esa juda ko'p edi. Ushbu savollarga javob axtarish maqsadida bu bo'lim mutaxassislari qo'shni galaktikalarni tadqiq qilganlar. Natijada Galaktikadan tashqi astronomiya yo'nalishi vujudga kelib, u yulduz astronomiyasi bo'limini astrofizikaga yaqinlashtirgan. Shu sababli, yulduzlar astronomiyasi bugungi kunda Galaktika astronomiyasi deb ataladi. Yulduzlar astronomiyasi tarkibi klassik nuqtai nazardan, umumiy holda, uch tarmoqdan iborat: yulduzlar statistikasi, yulduzlar kinematikasi, yulduzlar sistemasi dinamikasi va evolutsiyasi.

Kosmogoniya. Kuzatilayotgan Koinotdagi barcha jismlarning paydo bo'lishi va evolutsiyasi masalalarini Nyuton mexanikasi doirasida o'rganuvchi bo'limdir. Uning obyektlari: sayyoralar va ular yo'ldoshlari, Quyosh va uning sistemasi, yulduzlar va ular to'dalari, galaktikalar hamda ular to'dalari va hokazolardir.

Kosmologiya. Ushbu bo'lim kosmogoniya muammolarini hamda Koinotning geometrik tuzilishi, vujudga kelishi va evolutsiyasiga oid masalalarni Eynshteyn mexanikasi doirasida o'rganish bilan shug'ullanadi. Kosmogoniya kabi kosmologiya ham astrofizika, yulduzlar astronomiyasi, xususan, galaktikadan tashqi astronomiya, radioastronomiya kuzatuv ma'lumotlariga tayanadi. Kosmologiya bugun jadal ravishda rivojlanib, uning nazariy va kuzatuv asoslari tarmoqlari mavjud. Kosmologiyada bugungi kunda kuzatuv ma'lumotlari asosida, ayniqsa, ko'rinmas massa muammolari va Koinot tuzilishi masalalariga katta e'tibor beriladi.

Radioastronomiya. Zamonaviy astronomiya fani yutuqlariga ko'ra, bugungi kunga kelib radiodiapozonda qo'lga kiritilgan ilmiy natijalar, qolaversa kuchli radioteleskoplarining shunchalik ko'pligidan radioastronomiyani alohida mustaqil bo'lim sifatida shakllanganini tan olish zarur. Gap shunda-ki, radioastronomiya Koinotning barcha jismlarini radio to'lqin uzunliklarida tadqiq qiluvchi bo'limdir. Shu kunga qadar barcha darsliklarda radioastronomiya astrofizikaning bir tarmog'i hisoblanib kelingan. Lekin radioastronomiya tarmog'i nisbatan yaqinda (XX asrning 40-yillari) rivojlana boshlagan bo'lib, uni bugungi kunda o'z maxsus ishlayotgan teleskoplari turlariga egaligi va bunday teleskoplar soni ko'pligi bilan, masalalarining kengligi hamda ilmiy natijalari beqiyosligi jihatidan

astronomiyaning mustaqil bo'limiga aylangan deyish mumkin. Shu nuqtai nazardan biz uni alohida bo'lim tarzida belgilash vaqti keldi deb o'ylaymiz.

Olam tuzilishi haqida zamonaviy tasavvurlarni shakllanishi. Astronomiya tarixining boshlang'ich katta qismi kuzatuv ma'lumotlarini to'plash bilan band bo'lgan. Astronomiya bilan ota-bobolarimiz ajdodlari juda qadimdan boshlab shug'ullanganlar. Ularning asosiy izlari mo'g'ul va arab istilolari sababli deyarli yo'q bo'lsa-da, birin-ketin ayrimlari topilib bormoqda. Bular ichida bir muncha saqlanib qolib astronomik inshoot ekanini ko'rsatuvchi misollardan biri Xorazmdagi "qo'y qirilgan qal'a" hisoblanadi. Ushbu inshoot yordamida vaqtni o'lchash, fasllarning kirib kelish paytini qayd etish, ekliptika va ekvator tekisliklari orasidagi burchaklarni o'lchash hamda hayot taqozo etgan qator amaliy masalalar o'z davrida hal qilib kelingan. Tarixiy manbalarga ko'ra, miloddan avval VI asrga kelib, misrliklar va bobilliklar astronomik kuzatuv natijalari tahlili asosida oldindan Quyosh va Oy tutilishlari sodir bo'lishi vaqtini aytib bera olganlar. Pifagor asarlarida Yerning sharsimon ekani haqida yozib o'tilgani ma'lum. Aristotel olamni markazida Yer bo'lgan jismlar sistemasi deb tushuntirgan. Miloddan avval uchinchi asrda yunon fanining markazi Iskandariyaga ko'chgan. Eratosfen yer o'lchamini gradus o'lchash usuli bilan aniqladi. Bizga yetib kelgan yulduz jadvallaridan biri Gipparx tomonidan ishlab chiqilib, unda 1028 ta yulduzning osmon sferasidagi vaziyati berilgan. Ptolemey olamning geotsentrik modelini ishlab chiqib, uning asosida osmondagi yoritqichlar vaziyatini aniqlash imkonini ko'rsatib berdi.

Markaziy Osiyoning qator olimlari VIII-IX asrlarda astronomiya sohasida yirik yutuqlarni qo'lga kiritganlar. Masalan, Muhammad Xorazmiy o'z davrigacha bo'lgan qator kuzatuv jadvallardan iborat kitoblarni tanqidiy tahlil qilib, yangi "Astronomik jadvallar" tuzgan. U "Quyosh soatlari to'g'risida risola", "Usturlob haqida risola" kabi asarlar ham yozgan. Ahmad al-Farg'oniyning IX asrda yozgan "Samoviy harakatlar va umumiy ilmi nujum kitobi" asari XII asrga kelib Yevropada "Astronomiya asoslari haqidagi kitob" nomi bilan lotin tilida bir necha marta nashr qilinib, Yevropa universitetlarida bu kitob asosiy darslik bo'lib kelgan. Yevropa mamlakatlarida astronomiya ilmining rivojiga sabab bo'lgan bu kitob muallifiga minnatdorchilik tariqasida ular olimlari Oydagi kraterlardan birini "Alfraganus" deb (al-Farg'oniy nomini lotinlashtirib) ataganlar. Xorazmlik buyuk olim Abu Rayhon Beruniy XI asrda astronomiyadan 40 ga yaqin asarlar yozgan. Masalan, uning "qadimgi xalqlardan qolgan yodgorliklar" nomli asarida yunon, rumlik, yahudiy, sug'diy, arab va boshqa xalqlarning astronomik yil hisobi usullari batafsil qiyosiy jihatdan bayn qilingan. Beruni astronomiyaning kuzatuv va amaliy masalalari bilan ham keng shug'ullanib, u qator yangi astronomik asboblari ixtiro qilgan. Yoritqichlarning ko'rinma harakatini tushunishda Beruniy nafaqat geotsentrik sistemasini balki geliotsentrik sistemasini ham qo'llash

mumkinligini aytgan. Uning izdoshi Umar Hayyom bugun biz hayotda qo'llayotgan taqvim (kalendar)dan ancha aniq bo'lgan Quyosh taqvimini ishlab chiqqan. Mashhur Ibn Sino ham astronomiyaga oid asarlar yozib, bir necha yangi astronomik asboblarni yaratgan. XIV asrda Marog'a shahrida Nasriddin Tusiy boshchiligidagi qurilgan va kuzatuv ishlari olib borilgan astronomik rasadxonani ham tilga olish zarur. Bu rasadxonada olib borilgan kuzatuvlar asosida, xususan, "Ziji Elxoni" asari yaratilgan bo'lib, unda o'sha davrning deyarli barcha astronomik masalalari bayoni berilgan. Astronomiyaning olamshumul taraqqiyoti XV asrda Mirzo Ulug'bek nomi bilan bog'liq. U Samarqand shaxri yaqinida o'sha zamonda eng mukammal asboblarni bilan jihozlangan ulkan rasadxona qurgan. Bu rasadxonaning eng asosiy kuzatuv asbobi radiusi 40,2 m bo'lgan. Uning yordamida mashhur "Ziji Ko'ragoni" asari yozilgan. Bu ishda Ulug'bekning ustozlari Qozizoda Rumi va safdoshlari G'iyosiddin Jamshid Koshiy, Ali Qushchi va boshqalar xizmatlari katta bo'lgan. Samarqand olimlarining asarlari XVII-XVIII asrlarda Yevropada bir necha bor chop etib kelingan.

Nihoyat, 16-asrda polyak olimi N.Kopernikning Quyosh sistemasi tuzulishi haqidagi tasavvuri, Tixo Bragening sayyoralarini ko'p yillar davomida kuzatuv ishlariga asoslangan Kepler qonunlari astronomiya taraqqiyotining rivojlanish bosqichlaridan biridir. Ushbu yutuqlarga asoslangan holda esa buyuk olim I.Nyuton butun olam tortishish qonunini kashf qildi. Shundan boshlab nazariy astronomiya va osmon mexanikasi bo'limlari o'z rivojini boshladi. XIX asr o'rtasida spektral analiz usuli ishlab chiqilgan va astronomiyada fotografiyaning keng qo'llanishida uning yangi bosqichlarini belgilab berdi. Shu tariqa astrofizika yo'nalishi taraqqiyot etdi. 1957 yili Yerning birinchi sun'iy yo'ldoshi uchirilishi astronomiyada yangi tarmoqlar vujudga kelishiga sabab bo'ldi.

Oyga astronavlarni chiqishi (1969 y, AQSh), uning tuprog'ini Yerga keltirilishi, Mars va Veneraga tushuriluvchi apparatlar qo'ndirilishi, kosmosda turli tajriba o'tkazilishi, qator kosmik apparatlar Quyosh sistemasining tashqi qismlariga uchirilishi kabi yutuqlar astronomiya fani imkoniyatlarini kengaytirdi. Bugun astronomiya ko'p to'liqli fanga aylandi, ya'ni deyarli har bir ob'ekt elektromagnit nurlanish spektrining barcha diapazonlarida o'rganilishi uchun imkon tug'ildi. Bu yutuqlar natijasi quyida turli boblarda o'z aksini topgan.

O'zbekiston Respublikasi FA astronomiya instituti va uning filiallari

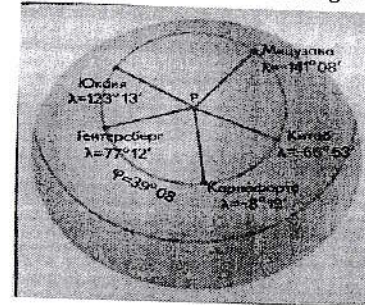
1966- yildan Respublika FA astronomiya instituti nomi bilan qayta tashkil etilgan Toshkent astronomik observatoriyasi O'rta Osiyoning eng birinchi ilmiy-tadqiqot niarkazlaridan hisoblanadi. Observatoriyada birinchi astronomik kuzatishlar 1873-yilda boshlandi. XIX asrning 80- yillaridayoq observatoriyada Repsold meridian doirasi, Mers 6 dyuymlik refraktori va

Xovyu yulduz soati o'rnatildi. 1890-yilda observatoriyaga mudir etib taniqli geodezist, olim, professor Sh.I.Pomeransev tayinlandi.

O'rta Osiyo va Qozog'istonda astronomik va geodezik ishlarni jonlantirish maqsadida 1927-yili observatoriya qoshida vaqt bo'limi ochilib, o'sha yili passaj instrument, astronomik soatlar va xronograf kabi asboblarga buyurtma berildi. 1928-yildan vaqt bo'limi astronomik, geodezik, gravimetrik, seysmometrik va boshqa aniq vaqt xizmatlarini anialga oshirish maqsadida ritmik signallar uzatishni yo'lga qo'ydi.

Vaqt bo'limida aniq va geografik uzunliklarni aniqlash masalalari bilan uzoq yillar observatoriyaning sobiq direktori V.P.Shcheglov rahbarligida P.P.Loginov, B.V.Yasevich, O.S.Tursunov, E.Sanaqulov va E.Inog'omov kabi iqtidorli olimlar shug'ullandilar.

1919-yili O'rta Osiyo hududida 39°08' kenglikda joylashgan beshinchi Xalqaro Chorjo'y kenglik stansiyasi o'z faoliyatini yakunlagach, shu kenglikda joylashgan Yukayya va Geytersberg (AQSH), Mitsuzava (Yaponiya) va Karloforte (Italiya) Xalqaro kenglik stansiyalari xizmatini yaxshilash maqsadida, O'rta Osiyo hududida yangi joy tanlash masalasi qo'yildi. Bunday joy Qashqadaryo viloyatidagi Kitob shahri yaqinidan topildi. Ulug'bek nomi bilan atalgan Kitob Xalqaro kenglik stansiyasi, 1920-yillarning oxirida, kenglik xizmatini o'tash uchun Germaniyaning mashhur Bamberg firmasida tayyorlangan zenit-teleskop ($d=110$ nim= 1290 mm), Vanshaf zenit-teleskopi ($d=68$ mm, $=870$ mm) va passaj instrumentlarini ishga tushirdi.



1-rasm. Xalqaro kenglik stansiyalar.

Uzoq yillardan buyon Kitob filialida A.M.Kalmikov rahbarligida S.Eshonqulov, D.Fozilova kabi bir guruh olimlar Xalqaro kenglik xizmatini amalga oshirish bo'yicha samarali mehnat qilib kelmoqdalar.

1932- yili Quyoshni tadqiq qilish bo'yicha Toshkent observatoriyasi qoshida Quyosh aktivligini o'rganish laboratoriyasi tashkil etildi. Mazkur laboratoriyada Quyoshdagi aktiv jarayonlarning fizik tabiatini va Quyosh aktivligi faoliyatini uzoq yillar o'rganishda Y.M.Slonim, I.Sattorov, Z.B.Korobova va K.F.Kuleshova kabi taniqli astronomlarning xizmati katta boldi.

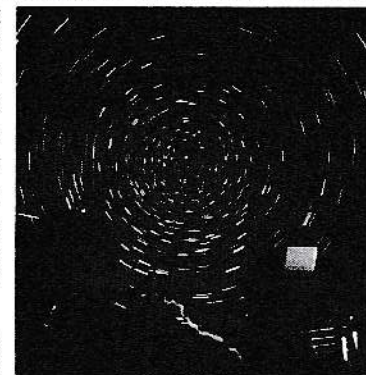
ortiq kitoblar saqlan-moqda. Ular ichida talay noyob qadimiy asarlar ham mavjud. Shulardan biri XVII asrda yashab ijod etgan taniqli polyak astronomi Yan Gaveliyning "Astronomiya darakchisi" asaridir. Mazkur asar 1690-yilda Polshaning Gdansk shahrida chop etilgan bo'lib, hozir eng nodir nusxalardan biri hisoblanadi. Uning biz uchun qimmatli joyi yana shundaki, bu asar sahifalarida buyuk vatandosh allomamiz Ulug'bekning Samarqand rasadxonasida tuzgan yulduzlar jadvali (ziji), shuningdek, jahon tasviriy san'atida noyob hisoblangan Ulug'bekning tasviri ham bor.

Kutubxonada kosmonavtikaning "otasi" K.E.Siolkovskiyning hayotlik paytida nashr etilgan va shaxsan o'zi Toshkent observatoriyasiga yo'llagan kitoblari ham saqlanmoqda. Ularning birida mashhur olim o'z qo'li bilan bitgan quyidagi so'zlarni o'qiyimiz: "Minnatdor muallifdan. K.Siolkovskiy, 1928- y., 10 - aprel".

I BOB. SFERIK VA ASTRONOMIYA ASOSLARI

1.1-§. Yulduzlar osmoni va uning aylanishi

Yulduzlar osmoni va uning aylanishi. Havo ochiq, bulutlar umuman yo'q kechalarda biz "qurollanmagan" oddiy ko'z bilan Yerning istalgan nuqtasidan turib 3 mingtacha osmon yoritgichlarini kuzata olamiz. Ularning barchasi bizdan xuddi bir chilmasofada bo'lgandek va ma'lum radiusli gumbazning ichki sirtiga joylashgandek bo'lib ko'rinadi. Lekin Oy o'z xarakati davomida ayrim sayyoralar, kometalar va yulduzlarni to'sib o'tishi hamda o'z navbatida sayyoralar va kometalar ham goxida bunday hodisada qatnashishi, ular aslida turli masofada joylashganligidan dalolat beradi. Xuddi shunday ayrim yulduzlar ravshan va ba'zilar keskin xira ekani ham xususan ularni bizdan turli masofalarda bo'lishi bilan bog'liq.



1.1-rasm. Yulduzlar osmoning sutkalik aylanishi

Yulduzlar bizdan shu darajada uzoq masofalarda joylashganki, ularning o'zaro nisbiy harakati ko'zimizga bir kecha mobaynida emas xatto o'n yillar ichida ham sezilmaydi. Demak eng ravshan yulduzlarning nisbiy o'rinlari va bu nuqtalar hosil qilgan ko'rinma shakllarni bilsak, unda bulardan oriyentir sifatida kechasi foydalanish yoki istalgan samo yo'nalishini ko'rsatish mumkin ekan. Bu ma'lumot ota-bobolarimizga qadimdan ma'lum bo'lib, undan o'sha zamonlari yetarlicha foydalanishgan. Ular osmon gumbazida bir-birlariga nisbatan yaqin yorug' yulduzlardan iborat guruxlarni xayolan ayrim hayovonlar, ma'lum shakllar, narsalar qiyos qilib, bu guruxlarni yoki afsonaviy kishilar ismi yulduz turkumlari sifatida ajratishgan hamda moskegan nom bilan atashgan. Masalan Katta Ayiq, Uchburchak, Veronika sochlari,



1.2-rasm. Yulduz turkumlarining chegara chiziqlari

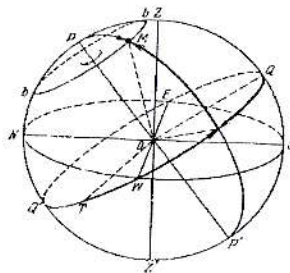
Asad(Arslon), Andromeda, Oqqush kabi nomli yulduz turkumlari nomi so'zimizning yaqqol dalilidir. Natijada butun osmon gumbazini 88 ta shunday turkumlar ajratishgan. 18 asrda har bir yulduz turkumidagi yorug' yulduzlarni grekcha harflar A,B,G,D bilan belgilash ham kiritilib,

turkumning har bir yulduzini aniq nomlab atash boshlandi. Undan tashqari eng ravshan yulduzlarga maxsus nomlar ham berildi. Masalan, Kichik Ayiqning A siga Temir Qoziq, Oqqushning A siga Deneb, Katta Itning A siga Sirius, Liraning A siga Vega kabi nomlar berilgan. Bugungi kunda yulduz turkumi deb, u egallagan osmon sohasi tushiniladi. Yulduz turkumlarining chegaralari va nomi 1922 yili Xalqaro Astronomik Kengashining 1-s'ezdida tasdiqlangan. Osmon xaritasi yordamida shimoliy yarim sharining qutb yulduzi atrofida boshqa kamida 10 ta yulduz turkumlari chegaralarini va nisbiy joylanishlarini eslab qolish tavsiya qilinadi. Qadimdan yulduz ravshanligi qancha xira bo'lsa, uni ifodalovchi yulduz kattaligi soni shunchalik katta deb olinib, eng ravshan yulduzga nulinchi yulduz kattaligi (0^m) va eng xirasiga oltinchi yulduz kattaligi (6^m) berish imkoni bo'lgan. Bugungi zamonaviy astronomiya esa ushbu yulduz kattaliklarni $0,01^m$ aniqlikda ajrata olishi va 6^m dan xira yulduzlar bir necha yuz millionlarni tashkil qilishini aniqlagan. Agar biror yulduz turkumini ma'lum vaqt ichida kuzatib tursak, uning vaziyati Yerdagi daraxt va uylarga nisbatan asta o'zgarib borishini sezamiz. Yoki fotoapparat diafragmasini ochiq holda kechasi qorong'ida 6 soatga qutb yulduzi (Kichik Ayiqning α si) tomon qaratib qoldirsak, har bir yoritgich ushbu yulduz atrofida albatta o'z chorak aylanasi chizadi. Bu hodisalar Yerning o'z o'qi atrofida sutkalik aylanishi tufayli sodir bo'ladi. Bu aylanishini sutkalik deb atashimiz sababi uning davri bir sutkaga tengligi bilan bog'liq. Yoritgichlar va yulduz turkumlarining bu tarzda harakati Yerning o'qi atrofida aylanishi yo'nalishga teskari bo'lib, u sutkalik ko'rinma harakat deyiladi. Yer o'qini faraziy ravishda fazoda davom ettirsak, uning shimoliy uchi deyarli qutb yulduzidan o'tib, shu tufayli yoritgichlar yuqorida aytilgan ko'rinma aylanaviy harakati bu yulduz atrofida yuz beradi. Bu o'qning shimoliy uchi aniqrog'i qutb yulduzidan taxminan 1 gradus (aylananing 360 dan bir qismi) uzoqligida joylashgan.

Osmon sferasi: asosiy nuqtalari, o'qlari va aylanalari.

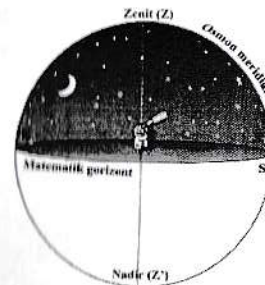
Astronomiyaning ayrim masalalarini yechishda yoritgichlargacha bo'lgan masofa ishlatilmay, faqat ularning samoda ko'rinma o'rni muhimdir. Bunda aniq matematik munosabatlarni kiritish uchun yoritgichlar ixtiyoriy bir radiusli osmon sferasida joylashgan deb qarashga to'g'ri keladi.

Ta'rif: Radiusi ixtiyoriy bo'lgan markazi esa kuzatuvchining ko'zida joylashgan faraziy sferaga **osmon sferasi** deyiladi. Demak osmon sferasining sutkalik aylanish o'qi Yer o'qiga parallel bo'lib, u kuzatuvchi ko'zidan o'tadi. Bu o'q osmon sferasi bilan P va P'



1.3-rasm. Osmon sferasining asosiy nuqta, chiziq aylanalari.

nuqtalarda kesishadi. **P-olamning shimoliy qutbi P'-janubiy qutbi** deyiladi. **PP' olam o'qi** hisoblanadi (1-rasm).



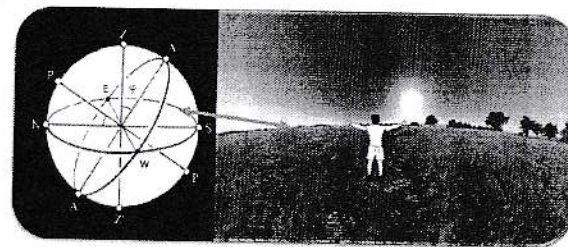
1.4-rasm. Matematik gorizont.

Har bir kuzatuvchi turgan joyda og'irlik kuchi vertikal chiziq bo'ylab Yer markazi tomon yo'nalgan. Ushbu vertikal chiziq ham kuzatuvchi ko'zi O dan o'tkazilib, u ikki tomonga davom ettirilsa osmon sferasi bilan Z va Z' nuqtalarda kesishadi. Kuzatuvchining tepasidagi Z nuqta **zenit**, Z' esa **nadir** deb ataladi. ZZ' o'qi **vertikal o'q** deb, bu ikki nuqtadan o'tuvchi aylanalarni esa vertikal aylanalar deb ataymiz. Ixtiyoriy sferaga taalluqli uning quyidagi xususiyatlarini aytib o'taylik: 1) Sfera sirtidagi ixtiyoriy ikki qarama-qarshi nuqtadan son-sanoqsiz aylanalar o'tadi. 2) Sfera sirtidagi aylanalar katta va kichik turlarga bo'linib, kattasining radiusi sfera radiusiga teng. 3) Sfera markazidan o'tuvchi har qanday tekislik uni ikki yarim sharga bo'ladi. 4) Sfera markazidan o'tmaydigan tekislik uning sirtida kichik aylanani hosil qiladi. 5) Ixtiyoriy ikki katta aylana sfera sirtida diametral qarama-qarshi ikki nuqtalarda kesishadi.

ZZ' o'qiga perpendikulyar holda sfera markazidan o'tuvchi tekislik **kuzatuvchining gorizonti** deyiladi. Gorizont ikki xil bo'ladi: ko'rinma va matematik gorizontlar. Ko'rinma gorizont radiusi bo'yicha matematik gorizontdan doimo kichik hisoblanib, u kuzatuvchiga Yer bilan osmon tutashgandek bo'lib ko'ringan aylanadir. Matematik (yoki haqiqiy) gorizont esa osmon sferasidan katta aylana bilan bog'liq. Matematik gorizont radiusi ixtiyoriy va, xususan, cheksiz deb ham olish mumkin. Ko'rinma gorizont radiusi kuzatuvchi balandlikga ko'tarilgani sari oshib boradi. Tekis yerda esa uning uzoqligi o'rta hisobda 7 km gacha yetadi.

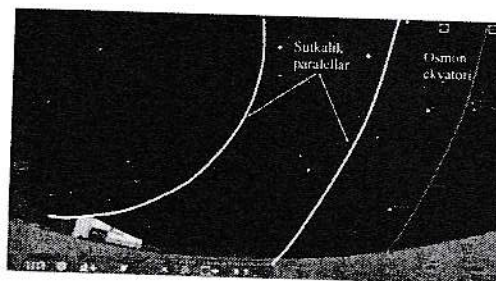
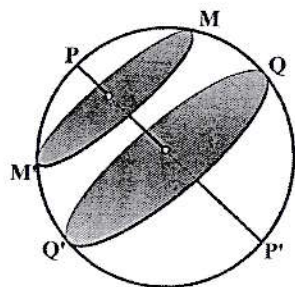
P, Z, P' va Z' nuqtalaridan o'tuvchi katta aylana **osmon meridiani** deyiladi. U gorizont tekisligi bilan ikki nuqtada kesishib, bulardan P ga yaqini N **shimol** nuqtasi va P' ga yaqini S **janub** nuqtasi deb ataladi. Osmon meridiani gorizont tekisligi bilan NS chizig'i bo'ylab kesishib, NS **tush chizig'i** deyiladi.

Olam o'qi PP' ga perpendikulyar katta aylana **osmon ekvatori** deb yuritiladi. Osmon ekvatori gorizont tekisligi bilan sferaning ikki nuqtasida



1.5-rasm. Shimol, janub, sharq va g'arb nuqtalari.

kesishib, biri E sharq nuqtasi va ikkinchisi W g'arb nuqtasi hisoblanadi. EW diametri tush chizig'i NS ga aniq perpendikulyar. Agar kuzatuvchi janub S tomonga qarab tursa, osmon sferasi chapdan o'nga asta aylanib borayotganini ko'rish mumkin, ya'ni E nuqta tomonidan yulduz turkumlari ko'tarilib, W nuqta botib

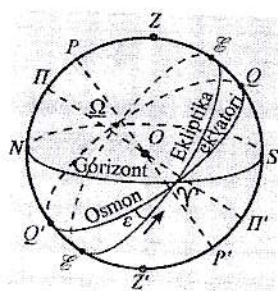


1.6-rasm. Osmon ekvatori.

boradi (bu Yerning o'z o'qi atrofida g'arbdan sharqqa qarab sutkalik aylanishi aksidir). Gorizont tekisligiga perpendikulyar bo'lib, E va W nuqtalaridan hamda vertikal o'q orqali o'tuvchi tekislikning sfera bilan kesishishi natijasida hosil bo'lgan yarim aylanalar mos ravishda g'arbiy va sharqiy birinchi vertikkalar deyiladi.

Osmon sferasida turli kichik aylanalar mavjud. Ular ichida tekisligi gorizont tekisligiga parallel bo'lganlari **almukantarar** deb, ekvator tekisligiga parallel bo'lganlari esa **sutkalik parallelar** deb ataladilar. Sutkalik parallelar bo'ylab yulduzlarning sutkalik ko'rinma xarakatlari sodir bo'ladi.

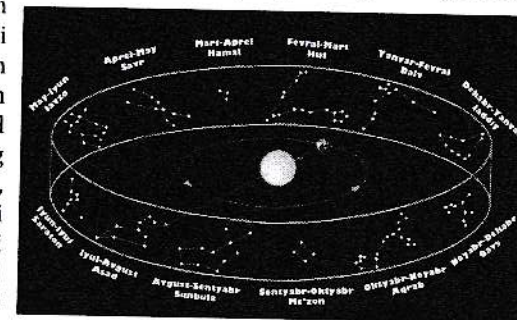
Quyoshning yillik ko'rinma harakati. Ekliptika. Yulduzlarga nisbatan Quyoshning g'arbdan sharqqa tomon siljishi qadim zamondan ma'lum. Bu siljish har sutkada sal kam 1° bo'lib, bir yilda Quyosh osmon sferasining zodiak yulduz turkumlari oralab bir marta to'la aylanib chiqadi.



1.7-rasm. Ekliptika

Bir necha oylar (yoki yil) davomida ma'lum bir joydan turib muntazam ravishda tush paytida Quyoshning zenitdan uzoqligini o'lchash, uning osmon ekvatoridan og'ishi $-23^\circ 26'$ dan, $+23^\circ 26'$ ga qadar o'zgarishini aniqlash mumkin. Bundan ekliptika tekisligining osmon ekvatoriga og'maligi $23^\circ 26'$ ga tengligi ma'lum bo'ladi.

Quyosh ko'rinma yo'li, ya'ni ekliptikaning to'rtta asosiy nuqtasi bo'lib, bulardan ikkitasi uning osmon ekvatori bilan kesishgan nuqtasini, qolgan ikkitasi esa, osmon ekvatoridan eng katta og'ishga ega bo'lgan nuqtalarini xarakterlaydi. Ekvator bilan kesishgan nuqtalaridan biri (Quyosh janubiy yarim shardan shimoliy yarim sharga kesib o'tganda hosil bo'lgani) - bahorgi teng kunlik nuqtasi (γ) deyilib, Quyosh unda 21 mart kuni bo'ladi; ikkinchisi esa, kuzgi teng kunlik nuqtasi (α) deyilib, Quyosh unda 23 sentyabr kuni bo'ladi. Ekliptikaning osmonning



1.8-rasm. Zodiak yulduz turkumlari.

shimoliy yarim sharda eng katta og'ishga ($+23^\circ 26'$) ega bo'lgan nuqtasi - yozgi Quyosh turishi nuqtasi deyilib, bu nuqtada Quyosh 22 iyunda, janubiy yarim sharda eng katta og'ishga ($-23^\circ 26'$) ega bo'lgan nuqtasi esa, qishki Quyosh turishi nuqtasi deyilib, unda Quyosh 22 dekabrda bo'ladi.

Kuzatuvchi turgan joydan ekliptika tekisligiga tik qilib, o'tkazilgan o'q (PP') - ekliptika o'qi deyiladi. Ekliptika o'qining sfera sirti bilan kesishgan nuqtalari ekliptikaning shimoliy - P (shimoliy yarim shardagisi) va janubiy - P' (janubiy yarim shardagisi) qutblari deyiladi. Ekliptika qutblari orqali o'tgan katta aylanalar, yoritgichning kenglik aylanalari deyiladi.

Quyoshning yulduzlar fonida yillik ko'rinma harakat qilishi aslida Yerning Quyosh atrofida yillik haqiqiy harakati tufayli sodir bo'ladi. Binobarin, Quyoshning yillik ko'rinma harakati tekisligi Yer orbita tekisligi bilan ustma-ust tushadi. Shuning uchun ham ekliptikaning osmon ekvatoriga og'maligi Yer ekvatorining o'z orbita tekisligiga og'maligi bilan bir xil bo'lib $\epsilon = 23^\circ 26'$ ni tashkil qiladi.

1.2-§. Astronomik koordinatalar sistemasi

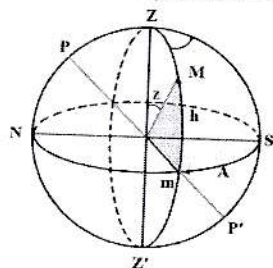
Gorizont, ekvatorial va ekliptikal koordinatalar sistemasi. Osmon sferasi atamasi ma'nosini yuqorida tushunib olib, u yoritgichlarning nisbiy o'rinlarini aniqlashda qo'l kelishini yaxshi angladik. Osmon sferasidagi har qanday nuqtaning o'rnini ikki koordinata bilan to'la ifodalash mumkin. Astronomiyada ushbu maqadda turli koordinatalar sistemalari qo'llaniladi. Ularning xillari bir nechta. Barchalari uchun yagona quyidagi tamoyil ishlatiladi: har bir sistemaning o'z asosiy tekisligi va koordinatalarini aniqlash uchun o'z qutbi bor bo'lib, bularga nisbatan jismning burchak uzoqligi

topiladi. Asosiy tekislik sifatida gorizont tekisligi - qutbi sifatida zenit Z nuqta olinganda gorizont koordinatalar sistemasi hosil bo'ladi. Berilgan ixtiyoriy M nuqtaning bu sistemada o'rnini belgilash uchun bu nuqtadan va Z dan o'tuvchi katta yarim aylana o'tkazib, uning sfera sirtida gorizont bilan kesishish nuqtasini M_1 deb olaylik (3a-rasm). Unda yoy $SM_1 = \angle SOM_1 = A$ deb belgilab, bu koordinatani yoritgich M ning **azimuti** deyiladi. Azimut astronomiyada odatda S nuqtadan g'arb tomonga, ya'ni osmon sferasining sutkalik ko'rinma aylanishi tomoniga qarab o'lchanib, $0 \leq A \leq 360$. Ayrim mamlakatlarda azimut ikki tomonga o'lchanib, g'arbiy azimut $0 < A \leq 180^\circ$ va sharqiy azimut $-180^\circ \leq A < 0^\circ$ deb olinadi.

Geodeziya fanida azimut A_G osmon sferasining shimol N nuqtasidan boshlab o'lchanadi, ya'ni $A_G = A + 180^\circ$ ($A < 180^\circ$), $A_G = A - 180^\circ$ ($A > 180^\circ$).

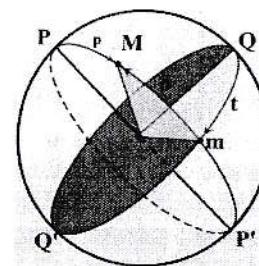
Astronomiyada gorizont sistemaning ikkinchi koordinatasi sifatida yoy $ZM = \angle ZOM$ olinib, u kichik z harfi bilan belgilanadi va yoritgichning **zenit masofasi** deyiladi. Bunda $0^\circ \leq z \leq 180^\circ$. Zenit masofa o'rniga yoritgichning gorizontdan balandligi $h = \angle M_1OM$ tushunchasini ham qo'llash mumkin, chunki $h = 90^\circ - z$. Almukantaratlari bir xil bo'lgan yulduzlarning z (yoki h) koordinatasi qiymatlari o'zaro teng. Jismning (z , A) koordinatasi gorizont sistemada ishlovchi astrometrik asboblarda yordamida aniqlanadi. Lekin osmon sferasining sutkalik aylanishi tufayli yoritgichlarning gorizont koordinatalari kun davomida o'zgarib turadi. Osmon jismlarining kataloglari va yulduz xaritalarini tuzishda gorizont koordinatalar ishlatilmaydi. Osmon sferasi aylanishi ta'sir etmaydigan koordinatalarni ekvatorial sistemada tuzish mumkin.

a). Gorizont koordinatalar sistemasi:

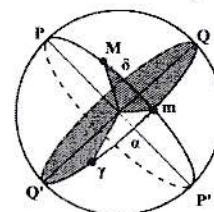


$$\begin{aligned} SM &= A - \text{azimut} \\ M_1M &= h - \text{balandlik} \\ ZM &= z - \text{zenit masofa} \\ z + h &= 90^\circ \end{aligned}$$

b). Ekvator koordinatalarining 1 - sistemasi:



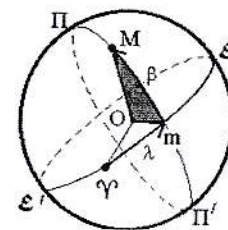
c). Ekvator koordinatalarining 2 - sistemasi



1.9-rasm. Astronomik koordinatalar sistemalari

Ekvatorial koordinatalar sistemasida asosiy tekislik sifatida osmon ekvatori va uning qutbi tariqasida olamning shimoliy yoki janubiy qutbi olinadi. Yoritgichning osmon ekvatoridan balandligi uning **og'ishi** deyilib, adabiyotda δ xarfi bilan belgilanadi (3b-rasm). Shimoliy yarim shardagi M yulduz uchun $\delta = \angle MOM_2$ bo'lib, uning qiymati $(0, +90^\circ)$ oralig'idagi qiymatlarni qabul qiladi. Osmon ekvatorida pastda joylashgan yulduzlar uchun uning qiymatlari minus ishora bilan olinadi. Yoritgich qoq osmon ekvatorida bo'lsa $\delta = 0^\circ$. Bu sistemada keyingi koordinata osmon ekvatori bo'ylab o'lchanadi. Osmon ekvatorining uning meridiani bilan kesishgan nuqtalari Q va Q' bo'lsin. Yuqori Q nuqtadan M_2 gacha bo'lgan yoy $\angle M_2OQ$ ga teng bo'lib, u yoritgichning **soat burchagi** deyiladi va t harfi bilan belgilanadi. Natijada (t, δ) ekvatorial koordinatalarning birinchi sistemasi deb yuritiladi. Masalan, bu sistemada shimol nuqtasining koordinatalari quyidagicha: $t_N = 180^\circ$, $\delta_N = 90^\circ - \varphi$.

Yoritgichning og'ishi aylanasi osmon ekvatori bilan kesishgan M_2 nuqtasi o'rnini Q dan boshlab emas, baxorgi teng kunlik nuqtasi Y dan boshlab aniqlash mumkin. Shuning uchun amalda ekvatorial koordinatalarning ikkinchi sistemasi ham mavjud bo'lib, bunda t o'rniga yoy $YM_2 = \angle YOM_2$ olinib, u yoritgichning **to'g'ri chiqishi** deyiladi va α harfi bilan belgilanadi (3c-rasm). Hosil bo'lgan (α, δ) ekvatorial koordinatalarning ikkinchi sistemasi deb yuritiladi.

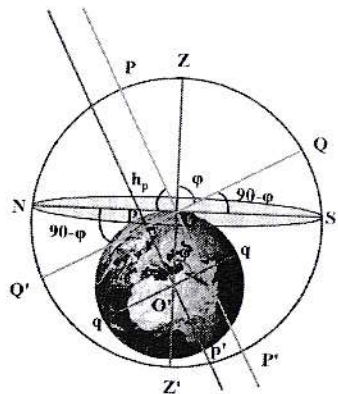


1.10-rasm. Eklptikal koordinatalar sistemasi

Yoritgichning α yoki t koordinatasini vaqt birliklarida o'lchash mumkin, chunki 360° so'zsiz 24 soatga to'g'ri keladi. Demak $1^h = 15^\circ$, $1^m = 15'$ va $1^s = 15''$ ga teng. Umumiy holda $0 \leq \alpha \leq 24^h$ yoki $0 \leq \alpha \leq 360^\circ$. Ekvatorial koordinatalarning birinchi sistemasi amaliy astronomiyada asosan aniq vaqtni topishda qo'llaniladi, ikkinchi sistemasi esa yulduz kataloglari va xaritalarini tuzishda ishlatiladi.

Ekliptika tekisligi va bahorgi tengkunlik nuqtasi asosida ekliptik koordinatalar sistemasini kiritish mumkin. Ekliptik koordinatalar sistemasida yoritgichlarning o'rni ekliptik kenglama (β) va ekliptik uzunlama (λ) deb ataluvchi koordinatalar bilan aniqlanadi. Koordinata boshi sifatida bahorgi tengkunlik nuqta olinadi.

Osmon jismlarining ekliptik kenglamasi ekliptikadan kenglik aylanasi bo'ylab to yoritgichgacha bo'lgan yoy bilan (yoki MOK tekis burchak orqali) o'lchanadi (4-rasm). Kenglik aylanasi deb yoritgich va ekliptika qutblari orqali o'tgan aylanaga aytiladi. Ekliptik uzunlama esa bahorgi tengkunlik nuqtasidan yoritgich orqali o'tgan kenglik yarim aylanasi ekliptika bilan kesishgan nuqtasigacha bo'lgan yoy uzoqligi (ekliptika bo'ylab) bilan (yoki γ OKtekis burchak bilan) o'lchanadi. Uni o'lchash osmon sferasining sutkalik ko'rinma aylanishiga teskari yo'nalishda bajariladi. Kenglama yoy gradusi, minuti va sekundlarida; uzunlamasi esa vaqt soati, minuti va sekundlarida o'lchanadi.



1.11-rasm. Olam qutbining balandligi va kuzatish joyining kengligi orasidagi bog'lanish.

orasidagi burchak geografik kenglama deyilib, uning qiymati $[-90^\circ, 0^\circ]$ oralig'ida bo'lsa janubiy va $[0^\circ, 90^\circ]$ oralig'ida esa shimoliy kenglamalar deb yuritiladi. Geografik uzunlama λ ni kiritish uchun dastlab hisob boshlang'ich meridian kelishib olinadi. Bunday meridian sifatida Angliyaning Grinвич observatoriyasi va Yerning qutblaridan o'tuvchi katta yarim aylana olinadi. Ushbu Grinвич meridiani Yer sirtini ikki yarim sharga bo'ladi: sharqiy va g'arbiy. Geograflar sharqiy uzunlamani 0° dan -180° gacha o'lchaydilar. Lekin

amalda λ ni Grinвич meridianidan Yerni aylanish yo'nalishi bo'yicha (g'arbdan sharqqa qarab) kuzatuvchi meridianigacha bo'lgan aylana qismini olish qulay. Bunda $[0^\circ, +360^\circ]$ orasida joylashadi.

Ayrim amaliy masalalarni yechishda yerning haqiqiy shakli va unda ichki massaning aniq taqsimotini hisobga olish zarur. Gap shunda-ki, Yerning ichki massasi yetarlicha notekis taqsimotda bo'lib, tashqi shakli taxminan ellipsoid deb qaralishi mumkin. Bu holda Yerning hamma nuqtalarida ham og'irlik chizig'i ellipsoid markazidan o'tmaydi va shu sababli geografik kenglama uch turga bo'linadi: astronomik, geotsentrik va geodezik. Og'irlik chizig'i Yer markazidan o'tmasa ham uning ekvatorini kesib o'tadi. Bu chiziq bilan ellipsoid ekvatori orasidagi burchak astronomik kenglama deyiladi. Kuzatuvchi turgan joyni ellipsoid markazi bilan tutashtiruvchi chiziqni ekvatorga qiyaligi geotsentrik kenglama ma'nosiga mosdir.

Va nihoyat, kuzatuvchi joyiga o'tkazilgan urunmaga bo'lgan perpendikulyar chiziq (normal) bilan Yer ellipsoidining ekvatori orasidagi burchak geodezik kenglama deb ataladi.

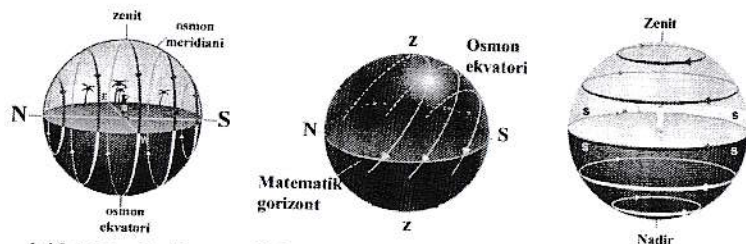
Teorema. Olam qutbining gorizontdan balandligi kuzatuvchining astronomik kenglamasiga teng: $h_p = \varphi$. Ushbu teorema isbotini Yer shakli sharsimon holi uchun keltiramiz. Yer chizilib, O nuqtasida kuzatuvchi o'rni bo'lsin (2-rasm). Unda $\angle PON = h_p$. Yer o'qi $P_N P_S$ bilan uning ekvatori orasidagi burchak ham aynan h_p ga teng. Unda $\angle P_N T O = 90^\circ - h_p = 90^\circ - \angle OTQ = 90^\circ - \varphi$. Bu tenglikdan teorema isboti kelib chiqadi. Mazkur teoremaning amaliy ahamiyati katta bo'lib, u qator masalalarni yechishda keng qo'llaniladi.

1.3-§. Turli geografik kenglamalarda osmon sferasining sutkalik va yillik ko'rinma aylanishi.

Turli geografik kenglamalarda osmon sferasining sutkalik va yillik ko'rinma aylanishi. Yerning o'z o'qi atrofida aylanishining natijasi osmon sferasining sutkalik ko'rinma aylanishi sodir bo'lganidan, turli geografik kenglamalarda yoritkichlarining ko'rinma aylanishi turlicha bo'ladi. Turli xil geografik kenglamada osmon sferasi aylanishini o'rganish bu hodisaning turli kenglamalarda qanday kechishi haqida etarlicha tushunib olishimizga yordam beradi.

Yer ekvatorida turgan kuzatuvchi uchun olam qutbining balandligi haqidagi teorema muvofiq, olam qutblari matematik gorizont bilan ustma-ust tushadi, chunki $h_p = \varphi = 0$. Olam o'qi esa tush chizig'i bo'ylab yo'naladi. Osmon ekvatori tekisligi olam o'qiga tik bo'lganidan zenit va nadir nuqtalari orqali o'tadi. Yoritgichlarning sutkalik harakatalari ekvatorga parallel bo'lgan sutkalik parallel aylanalar bo'ylab kechganidan ular ham matematik gorizontga tik va u bilan teng ikkiga bo'linadi (6-rasm). Bundan ko'rinishicha, Yer ekvatorida osmonning shimoliy va janubiy yarim sharidagi barcha

yoritgichlarning gorizontni ustida va ostida bo'lish vaqtlari o'zaro teng bo'ladi. Ularning meridiandagi balandliklari $h=90^\circ - |\delta|$ ga teng bo'ladi. Yer ekvatoridagi kuzatuvchi uchun barcha yoritgichlar ham chiqadi va ham botadi. Agar yoritgich ekvator bo'ylab sutkalik ko'rinma harakat qilsa, u kuzatuvchining zeniti orqali o'tadi.



1.12-rasm. Turli geografik kenglamalarda yoritgichlarning sutkalik harakati

Kuzatuvchi Yer qutblaridan birida turgan bo'lsin. Agar kuzatuvchi shimoliy qutbda bo'lsa, olam shimoliy qutbining balandligi $h_p=90^\circ$, ya'ni zenit bilan ustma-ust tushadi, u holda olam o'qi vertikal o'q bilan, olam ekvatori esa matematik gorizont bilan ustma-ust tushadi. Bundan osmonning shimoliy yarim sharidagi barcha yulduzlar matematik gorizontga parallel aylanadi va botmaydi. Ularning aylanishi balandliklari yil davomida o'zgarib bo'lib, shu yoritgichlarning og'ish burchaklariga teng bo'ladi.

Yuqorida qaralgan ikkita holdan boshqa holdarda, ya'ni kuzatuvchi ekvatoridan va qutbdan boshqa geografik kenglamalarga tegishli nuqtalarda bo'lsin. Bu joylarda sutkalik parallel aylanalari matematik gorizont bilan kesishganda teng ikkiga bo'linmaydi (olam ekvatori bundan mustasno). Shimoliy yarim shardagi sutkalik parallel aylanalarning gorizont ustidagi qismi gorizont ostidagi qismidan katta bo'ladi va bu farq yoritgichlarning og'ish burchagiga (δ) bog'liq bo'lib, u qancha katta bo'lsa shuncha ko'p bo'ladi. Janubiy yarim shardagi yoritgichlarning sutkalik aylanalari uchun esa, aksincha gorizont ostidagi qismlari, ustidagisidan ko'p, ya'ni yoritgichlar gorizont ostida ustidagiga qaraganda ko'proq vaqt bo'ladilar. Shuningdek, osmonning shimoliy va janubiy yarim sharlarida matematik gorizont bilan kesishmaydigan sutkalik parallellar ham mavjud bo'lib, ular bo'yicha harakatlanadigan yoritgichlar botmaydigan yoki chiqmaydigan yoritgichlar bo'ladi. Ular osmonning qutbga yaqin kichik maydonini egallashlari joyning geografik kengligiga bog'liqdir. Rasmdan qarab chiqmaydigan va botmaydigan yoritgichlarning og'ishi uchun quyidagi munosabatni aniqlash mumkin: botmaydigan yoritgichlar uchun $\delta \geq 90^\circ - \varphi$, chiqmaydigan yoritgichlar uchun esa $\delta < 90^\circ - \varphi$.

Quyosh sutkalik harakatining yil davomida o'zgarishini geografik kenglamaga bog'liqligi. Ekliptikada berilgan kun uchun Quyoshning o'rni topish orqali bu joyda Quyoshning ma'lum kun uchun sutkalik harakatini topiladi. So'ngra topilgan nuqtadan olam ekvatori tekisligiga parallel tekislikda yotuvchi aylana — sutkalik parallel aylanasi o'tkaziladi. Quyoshning berilgan kundagi ko'rinma harakati shu aylana bo'ylab kuzatiladi.

Quyoshning gorizontga nisbatan sutkalik ko'rinma harakatini ko'raylik. 22 dekabr kuni qishki Quyosh turishi nuqtasi orqali o'tkazilgan sutkalik paralleldan ko'rinadiki, u kuni Quyosh, osmonning janubiy yarim sharida sharqdan $23^\circ 26'$ li yoy masofada matematik gorizontdan ko'tariladi. Quyoshning 21 mart va 23 sentyabr kunlaridagi yo'li osmon ekvatori bo'ylab kuzatiladi. Bu kunlari tush paytda Quyosh zenitdan o'tadi. 22 iyunda esa, Quyoshning sutkalik yo'li osmonning shimoliy yarim shar ekvatoridan $23^\circ 26'$ li yoy masofadan o'tuvchi sutkalik parallel bo'ylab joylashadi. Tush paytda Quyosh, 22 dekabrda kabi gorizontdan $66^\circ 34'$ balandda bo'ladi. Shunday qilib, ekvatorida bizga tanish to'rt faslning ma'nosi yo'qolib o'rniga asosan ikki fasl-kuz va bahor paytlari eng issiq davr va yoz hamda qish paytlarida birdek salqin davr kuzatiladi.

Janubiy yarim shardagi yoritgichlar esa aksincha chiqmaydi va gorizont ostida unga parallel harakatlanadi. Quyoshning sutkalik harakati olam qutbida xarakterli bo'lib, har sutkada chiqib botmaydi. Ekliptika bu joyda matematik gorizont bilan teng ikkiga bo'linganidan Quyosh yarim yil gorizontdan yuqorida unga deyarli parallel aylanadi. Quyosh qutbdagi kuzatuvchi uchun 21 mart kuni chiqadi va spiralsimon harakat qilib har kuni taxminan chorak gradusdan ko'tarilib boradi. 22 iyunda Quyoshning balandligi maksimumga erishib, $\delta = +23^\circ 26'$ ga etadi. Shundan so'ng yana uch oy davomida Quyosh balandligi kamayib boradi. 23 sentyabr kuni Quyosh eng so'nggi marta gorizont ustida bo'ladi va so'ngra botadi. Shundan keyin to kelgusi yilning 21 martiga qadar Quyosh chiqmaydi.

Quyosh shimoliy yarim sharda bo'lganda (ya'ni 21 martdan to 23 sentyabrga qadar) kunduz kuni kechasidan uzunroq, janubiy yarim sharda bo'lganda esa (ya'ni 23 sentyabrdan to kelgusi yilning 21 martiga qadar), kecha uzunligi kunduzidan ko'proq bo'ladi. Agar kuzatuvchining geografik kengligi qutb aylanasi shimolda (ya'ni $\varphi > 66^\circ 33'$) bo'lsa, bunday joylarda 22 iyunga yaqin bir necha kunlar yoki oylar davomida Quyoshni botmasligini, 22 dekabr atrofidagi kunlarda esa, aksincha, uning chiqmasligini kuzatishi mumkin.

1.4-§. Sferik uchburchak va uning asosiy formulalari.

Sferik uchburchak va uning asosiy formulalari. Astronomiyaning ko'pgina masalalarini qaraganimizda osmon sferasidan foydalanganimiz uchun osmon jismlarining ko'rinma va haqiqiy harakatlari bilan bog'liq bo'lgan ko'p masalalarni echish sferik uchburchak xossalari va formulalariga tayanadi. Sferaning biror katta aylanasi tekisligi bo'ylab yotmaydigan uch nuqtasi orqali o'tkazilgan katta aylanalarning kesishishidan hosil bo'lgan uchburchak sferik uchburchak deyiladi. Sferik uchburchakning burchagi deb, shu burchakning tashkil etuvchi katta aylana tekisliklari hosil qilgan ikki yokli burchakka aytiladi. Bu sferik burchaklar uning uchlaridan tomonlariga o'tkazilgan urinmalar orasidagi tekis burchak bilan o'lanadi.

Sferik uchburchak sferada yotgan shunchaki ixtiyoriy uchta burchakga ega bo'lgan shakl emas; uning tomonlari katta aylanalarning yo'ylari bo'lishi kerak. Agarda sferaning radiusi r bo'lsa, AB yo'ynig uzunligi

$$|AB| = r \cdot c, \quad [c] = \text{radian}$$

bo'ladi, bu yerda c - markazdan qaraganda AB yoyi tashkil etadigan burchak. Bu burchak AB tomonning markaziy burchagi deyiladi. Tomonlarning uzunliklari va markaziy burchaklar bir biriga yagona yo'l bilan o'tgani sababli, tomonlar o'rniga burchaklarni ifodalash qulay. Bu borada, sferaning radiusi sferik trigonometriya tenglamalariga kirmaydi. Bu yerda biz katta (A, B, C) xarflar bilan sferik uchburchakning burchaklarini va ularga qarama-qarshi tomonlarini, yoki aniqroq qilib aytganda, ularga mos markaziy burchaklarni kichik (a, b, c) harflar bilan belgilaymiz.

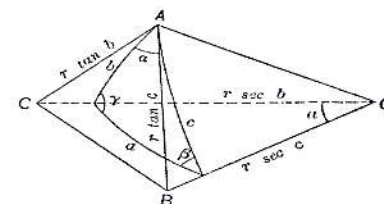
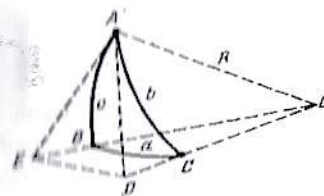
Sferik uchburchak ichki burchaklarining yig'indisi 180° katta bulib 540° dan kichik bo'ladi. Sferik uchburchak ichki burchaklari yig'indisi va 180° orasidagi farq sferik orttirma deb yuritiladi.

$$\sigma = \angle A + \angle B + \angle C - 180^\circ \quad (1)$$

Sferik orttirma bilan sferik uchburchakning yuzi orasida quyidagi bog'lanish mavjud.

$$S = \sigma \frac{\pi R^2}{180^\circ} \quad (2)$$

bu erda R -sfera radiusi. Tekislikdagi uchburchak sferik uchburchakdan keskin farq qilganidan uning formulalarini sferik uchburchak uchun qo'llab bo'lmaydi.



1.13-rasm. Sferik uchburchak.

Shuning uchun sferik uchburchak uchun alohida formulalarni ko'rib chiqamiz. Uchlari A, B va C nuqtalarda yotgan sferik uchburchak, radiusi R va markazi O nuqtada bo'lgan sferada yotsin (7-rasm). B va C nuqtalaridan o'tgan radius yunalishlari OB va OC larni A uchidan b va c tomonlariga o'tkazilgan urinmalar bilan kesishguncha davom ettiramiz. Bu kesishgan nuqtalar (K va L) ni o'zaro tutashtirib, bir tomoni (KL) umumiy bulgan ikkita teng yonli AKL va OKL uchburchaklarni hosil qilamiz. Bu uchburchaklarning umumiy tomoni KL ning kattaligini har ikkala uchburchakdan alohida-alohida topsak,

$$\Delta AKL \text{ dan: } KL^2 = AK^2 + AL^2 - 2AK \cdot AL \cos A \quad (3)$$

$$\Delta OKL \text{ dan: } KL^2 = OK^2 + OL^2 - 2OK \cdot OL \cos a \quad (4)$$

(3) dan (4) ni ayirsak:

$$2OK \cdot OL \cos a = OK^2 - AK^2 + OL^2 - AL^2 + 2AK \cdot AL \cos A \quad (5)$$

Endi ΔAKO va ΔALO uchburchaklar to'g'ri burchakli ekanligidan ulardan topilgan radius

$$R^2 = OK^2 - AK^2, \quad R^2 = OL^2 - AL^2 \quad (6)$$

bo'ladi. Shuningdek, bu uchburchaklardan:

$$\frac{R}{OK} = \cos c \text{ yoki } OK = \frac{R}{\cos c}, \quad \frac{R}{OL} = \cos b \text{ yoki } OL = \frac{R}{\cos b}$$

$$\frac{AK}{R} = \operatorname{tg} c \text{ yoki } AK = R \cdot \operatorname{tg} c = R \frac{\sin c}{\cos c}, \quad \frac{AL}{R} = \operatorname{tg} b \text{ yoki } AL = R \cdot \operatorname{tg} b = R \frac{\sin b}{\cos b}$$

Ushbu ifodalarni (5) ga qo'yib ixchamlab, quyidagi tenglamani hosil qilamiz:

$$2 \cdot \frac{R}{\cos c} \cdot \frac{R \cos A}{\cos b} = R^2 + R^2 + 2R^2 \frac{\sin c}{\cos c} \cdot \frac{\sin b}{\cos b} \cdot \cos A$$

$$\text{va uni } 2R^2 \text{ ga bo'lsak, } \frac{\cos A}{\cos b \cdot \cos c} = 1 + \frac{\sin b \cdot \sin c}{\cos b \cdot \cos c} \cdot \cos A$$

yoki

$$\cos a = \cos b \cdot \cos c + \sin b \cdot \sin c \cdot \cos A \quad (7)$$

Demak, sferik uchburchakda bir tomonining kosinusi qolgan ikki tomonining kosinuslari bilan shu tomonlar sinuslari va ular orasidagi burchak kosinusiga ko'paytmasining yig'indisiga teng bo'ladi. (7) formulani sferik uchburchakning boshqa tomonlari uchun ham yozish mumkin.

$$\cos b = \cos c \cdot \cos a + \sin c \cdot \sin a \cdot \cos B \quad (8)$$

$$\cos c = \cos a \cdot \cos b + \sin a \cdot \sin b \cdot \cos C \quad (9)$$

Bu tenglamalardan (8) formuladagi $\cos a$ o'riniga (9) tenglamaning o'ng tomonini qo'ysak, u holda:

$$\cos b = \cos c \cdot (\cos b \cdot \cos c + \sin b \cdot \sin c \cdot \cos A) + \sin c \cdot \sin a \cdot \cos B$$

$$\cos b = \cos^2 c \cdot \cos b + \sin b \cdot \sin c \cdot \cos A + \sin c \cdot \sin a \cdot \cos B$$

$$\cos b(1 - \cos^2 c) = \sin b \cdot \sin c \cdot \cos A + \sin c \cdot \sin a \cdot \cos B$$

$1 - \cos^2 c = \sin^2 c$ ga almashgirib barcha haddarini $\sin c$ ga bo'lsak:

$$\cos b \cdot \sin c = \sin b \cdot \cos c \cdot \cos A + \sin a \cdot \cos B$$

yoki

$$\sin a \cdot \cos B = \cos b \cdot \sin c - \sin b \cdot \cos c + \cos A \quad (10)$$

Shuningdek:

$$\sin b \cdot \cos C = \sin a \cdot \cos C - \sin c \cdot \cos a \cdot \cos B, \quad (10')$$

$$\sin c \cdot \cos A = \sin b \cdot \cos a - \sin a \cdot \cos b \cdot \cos C, \quad (11)$$

demak, sferik uchburchakda biror tomoni sinusining shu tomonga yopishgan burchak kosinusiga ko'paytmasi burchakni chegaralovchi ikkinchi tomon sinusining uchinchi tomon kosinusiga ko'paytmasidan chegaralovchi tomon kosinusini uchinchi tomon sinusiga va keyingi ikki tomon orasidagi burchak kosinusi ko'paytmasi ayrilganiga teng. (10-11) formulalar sferik uchburchak uchun besh elementli formulalari deb yuritiladi. Endi (6) tenglamani $\cos A$ ga nisbatan aniqlab, sinuslar formulalarini topamiz.

$$\cos A = \frac{\cos a - \cos b \cdot \cos c}{\sin b \cdot \sin c} \quad (12)$$

Ikkala tomonini kvadratga ko'tarib:

$$\cos^2 A = \frac{(\cos a - \cos b \cdot \cos c)^2}{\sin^2 b \cdot \sin^2 c} \quad (13)$$

hosil qilamiz. 1 dan (13) ning har ikkala tomonini ayirsak:

$$1 - \cos^2 A = 1 - \frac{(\cos a - \cos b \cdot \cos c)^2}{\sin^2 b \cdot \sin^2 c} \quad (14)$$

bu yerda $1 - \cos^2 A$ ni $\sin^2 A$ bilan almashtirib, tenglikning ikkala tomonini $\sin^2 a$ ga bo'lsak:

$$\sin^2 A = 1 - \frac{(\cos a - \cos b \cdot \cos c)^2}{\sin^2 b \cdot \sin^2 c}$$

yoki

$$\frac{\sin^2 A}{\sin^2 a} = \frac{(1 - \cos^2 b) \cdot (1 - \cos^2 c) - (\cos a - \cos b \cdot \cos c)^2}{\sin^2 a \cdot \sin^2 b \cdot \sin^2 c}$$

Qavslarni ochib ixchamlasak,

$$\frac{\sin^2 A}{\sin^2 a} = \frac{1 - \cos^2 b - \cos^2 c + \cos^2 b \cdot \cos^2 c - \cos^2 a + 2 \cos a \cdot \cos b \cdot \cos c - \cos^2 b \cdot \cos^2 c}{\sin^2 a \cdot \sin^2 b \cdot \sin^2 c}$$

demak

$$\frac{\sin^2 A}{\sin^2 a} = \frac{1 - \cos^2 a - \cos^2 b - \cos^2 c + 2 \cos a \cdot \cos b \cdot \cos c}{\sin^2 a \cdot \sin^2 b \cdot \sin^2 c} \quad (15)$$

olingan natija a, b, c lar uchun simmetrik bo'lganidan

$$\frac{\sin^2 B}{\sin^2 b} = \frac{1 - \cos^2 a - \cos^2 b - \cos^2 c + 2 \cos a \cdot \cos b \cdot \cos c}{\sin^2 a \cdot \sin^2 b \cdot \sin^2 c}$$

$$\frac{\sin^2 C}{\sin^2 c} = \frac{1 - \cos^2 a - \cos^2 b - \cos^2 c + 2 \cos a \cdot \cos b \cdot \cos c}{\sin^2 a \cdot \sin^2 b \cdot \sin^2 c}$$

Hosil qilingan uchta tenglamalarning o'ng tomonlari teng bo'lganidan

$$\frac{\sin^2 A}{\sin^2 a} = \frac{\sin^2 B}{\sin^2 b} = \frac{\sin^2 C}{\sin^2 c}$$

$$\frac{\sin A}{\sin a} = \frac{\sin B}{\sin b} = \frac{\sin C}{\sin c} = \text{const} \quad (16)$$

ya'ni, sferik uchburchak istalgan burchagi sinusining bu burchak qarshisidagi tomon sinusiga nisbati o'zgarmas kattalikdir.

Agarda biz a, b va c tomonlari juda kichik (nolga intilishi mumkin degan limit) deb qabul qilsak, unda sferik uchburchak tekislikdagi uchburchakka aylanadi. Agarda hamma burchaklar radiandarda ifodalangan bo'lsa, unda biz quyidagi taxminiy formulalarga ega bo'lamiz:

$$\sin a \approx a, \quad \cos a \approx 1 - \frac{1}{2}a^2. \quad (17)$$

Ushbu approksimatsiyalarni kosinuslar formulasiga qo'yish orqali biz tekislik geometriyasidagi sinuslar formulasiga kelamiz:

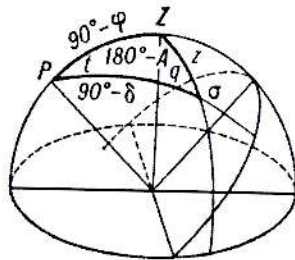
$$\frac{a}{\sin A} = \frac{b}{\sin B} = \frac{c}{\sin C}. \quad (18)$$

Xuddi shu yo'l bilan sferik trigonometriyadagi kosinuslar formulasidan tekislikdagi kosinuslar formulasi

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2 \cdot b \cdot c \cdot \cos A. \quad (19)$$

ni keltirib chiqarishimiz mumkin.

Paralaktik uchburchak, osmon koordinatalarini almashtirish formulalari. Uchlari olam qutbi P, zenit Z va yoritgich M da joylashgan sferik uchburchak paralaktik uchburchak deyiladi. Ta'rifdan ko'rinishicha, paralaktik uchburchakning tomonlari - osmon meridiani, yoritgichdan o'tgan og'ish va vertikal yarim aylanalar yoylaridan iborat bo'ladi (8-rasm). Sferik uchburchak formulalarini tatbiq etib, koordinatalarning almashtirish



1.14-rasm. Paralaktik uchburchak.

formulalarini keltirib chiqarish uchun paralaktik uchburchak tomonlari va burchaklarini yoritgichning ekvatorial (t, δ) va gorizontalar kattaliklari (A, z) va joyning geografik kenglamasi (φ) orqali belgilaymiz. Shaklda NP yoy $h_R = \varphi$ bo'lganida paralaktik uchburchakning PZ tomoni $90^\circ - \varphi$ ga, KM = δ . bo'lganidan MR_{sh} yoy uzunligi $90^\circ - \delta$ ga va uchinchi MZ tomoni yoritgichning zenit masofasi z ga teng bo'ladi. Shuningdek SZL sferik burchak yoritgich A-azimutni berganidan paralaktik uchburchakning NZL sferik burchagi $(180^\circ - A)$ ni QPK sferik burchak esa yoritgichning soat burchagi t ni beradi.

Paralaktik uchburchakdan foydalanib, bir astronomik koordinata sistemasidan boshqasiga o'tish mumkin. Sferik uchburchakning (6) formulalariga ko'ra

$$\cos(90^\circ - \delta) = \cos(90^\circ - \varphi) \cdot \cos z + \sin(90^\circ - \varphi) \cdot \sin z = \cos(180^\circ - A),$$

keltirish formulalaridan foydalansak, u holda

$$\sin \delta = \sin \varphi \cdot \cos z + \cos \varphi \cdot \sin z \cdot (-\cos A) = \sin \varphi \cdot \cos z - \cos \varphi \cdot \sin z \cdot \cos A$$

besh elementli sferik uchburchakga ko'ra:

$$\sin(90^\circ - \delta) \cdot \cos t = \sin(90^\circ - \varphi) \cdot \cos z - \sin z \cdot \cos(90^\circ - \varphi) \cdot \cos(180^\circ - A) \quad (20)$$

yoki

$$\cos \delta \cdot \cos t = \cos \varphi \cdot \cos z + \sin z \cdot \sin \varphi \cdot \cos A \quad (20')$$

Sinuslar formulasiga ko'ra:

$$\frac{\sin t}{\sin \delta} = \frac{\sin(180^\circ - A)}{\sin(90^\circ - \delta)} \quad (21)$$

yoki

$$\sin t \cdot \cos \delta = \sin z \cdot \sin A. \quad (22)$$

Ushbu formulalari yoritgichlarning gorizont koordinatalaridan ekvatorial koordinatalarga o'tishga imkon beradi.

Ekvatorial koordinatalardan gorizont koordinatalarga o'tish esa quyida chiqariladigan formulalar yordamida bo'ladi.

Kosinuslar formulasiga

$$\cos z = \cos(90^\circ - \delta) \cdot \cos(90^\circ - \varphi) + \sin(90^\circ - \delta) \cdot \sin(90^\circ - \varphi) \cdot \cos t,$$

ixchamlashtirishdan keyin

$$\cos z = \sin \delta \cdot \sin \varphi + \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos t \quad (23)$$

$$\sin z \cdot \cos(180^\circ - A) = \sin(90^\circ - \varphi) \cdot \cos(90^\circ - \delta) - \sin(90^\circ - \delta) \cdot \cos(90^\circ - \varphi) \cdot \cos t.$$

Keltirilgan formulalariga ko'ra

$$-\sin z \cdot \cos A = \cos \varphi \cdot \sin \delta - \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos t \quad (24)$$

$$\sin z \cdot \cos A = -\cos \varphi \cdot \sin \delta + \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos t.$$

$$\text{Sinuslar teoremasiga ko'ra } \frac{\sin t}{\sin \delta} = \frac{\sin(180^\circ - A)}{\sin(90^\circ - \delta)} \text{ yoki } \sin A \cdot \sin z = \sin t \cdot \cos \delta.$$

Xususiyl holda yoritgichning chiqayotgan yoki botayotgan paytida uning azimuti $z = 90^\circ$ bo'lganidan quyidagicha topiladi.

$$\sin A = \sin t \cdot \cos \delta, \quad (25)$$

ya'ni

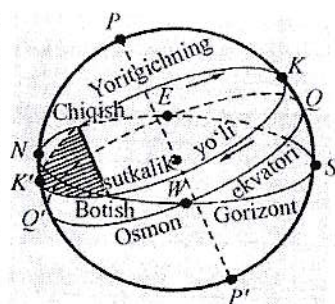
$$A = \pm \arcsin(\sin t \cdot \cos \delta)$$

Bu yerda plus yoritgichning chiqish momentiga, minus esa botish momentiga tegishli.

II BOB. AMALIY ASTRONOMIYA ASOSLARI

2.1-§. Yoritgichlarning kulminatsiyasi va kulminatsiya balandliklari.

Yoritgichlarning sutkalik ko'rinma harakatlari paytida osmon meridianini kesib o'tish hodisasi ularning kulminatsiyalari deyiladi. Ixtiyoriy yoritgich bunday harakat tufayli har sutkada osmon meridianini ikki marta kesib o'tadi, binobarin, ikki marta kulminatsiyada bo'ladi. Bu ikki kulminatsiyadan zenitga yaqini (K) yuqori kulminatsiya, ikkinchisi esa (K') quyi kulminatsiya deb ataladi. Kulminatsiya paytida yoritgichning balandligi kuzatish joyining geografik kengligi (φ) va yoritgichning og'ishiga (δ) bog'liq bo'ladi (2.1-rasm).



2.1-rasm. Yoritgichlarning kulminatsiyasi.

K yoritgichning yuqori kulminatsiyasi paytidagi balandligi SK yoy bilan o'lchanib, u (1)

$$h_{yu} = SK = SQ + QK \quad (1)$$

bo'ladi

SQ - osmon ekvatori tekisligining gorizont tekisligiga og'maligiga teng bo'lib, u $SQ = 90^\circ - \varphi$ ifoda orqali hisoblanadi. QK yoy esa yoritgichning og'ishiga (δ) tengligidan yoritgichning yuqori kulminatsiyasi (2):

$$h_{yu} = 90^\circ - \varphi + \delta \quad (2)$$

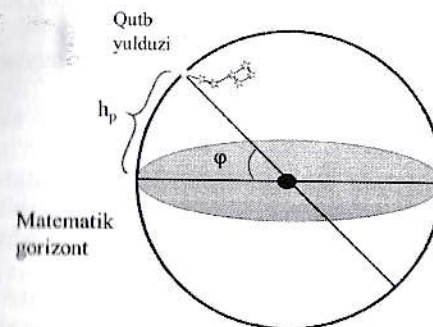
tenglamadan topiladi. Yoritgichning quyi kulminatsiyasi ham shunday yo'l bilan hisoblanib, u (3)

$$h_q = \varphi + \delta - 90^\circ \quad (3)$$

ga tengligi oson topiladi. Quyoshning yuqori kulminatsiya holati tush payti deyilib, quyi kulminatsiya holati yarim kechaga to'g'ri keladi.

Astronomik kuzatishlar asosida joyning geografik kenglamasini taxminiyl aniqqlash:

1-usul. Qutb yulduzi (Kichik Ayiq yulduz turkumining eng yorug' yulduzi - alfasi) olam qutbidan 1° dan ham kichik yoy masofada joylashgan. Oldin aniqlaganimizdek, ma'lum bir joyning geografik kenglamasi φ , o'sha joyda Olam qutbining gorizontdan balandligiga (h_p) teng bo'ladi, ya'ni $\varphi = h_p$.



2.2-rasm. Joyning geografik kenglamasi

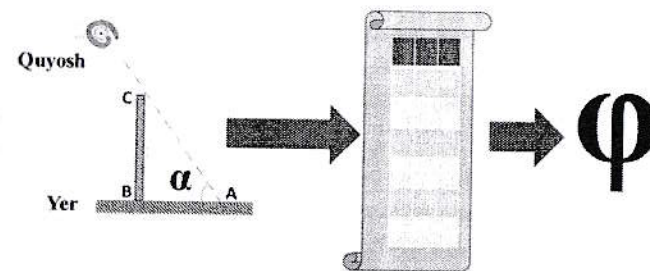
2-usul. Ma'lum bir aholi yashaydigan punktda Quyoshning tush paytdagi ho balandligini bevosita o'lchab va aynan shu kun uchun Quyoshning δ_o og'ishiga ko'ra, bu joyning geografik kenglamasini quyidagicha topish mumkin:

$$h_o = 90^\circ - \varphi + \delta_o \quad (6)$$

bu yerdan

$$\varphi = 90^\circ - h_o + \delta_o \quad (7)$$

ga teng bo'ladi.



2.3-rasm. Quyoshning og'ishiga ko'ra joyning geografik kenglamasini aniqlash.

2.2-§. Vaqtni o'lchash asoslari.

Vaqtni o'lchash tamoyillari. Yulduz vaqti. Vaqt fazo bilan birgalikda mavjud materiya formasidir. Fazoga o'xshab, vaqt ham materiyasiz hech qanday ma'noga ega emas. Shuning uchun biz vaqtni materiyaning biror

harakatini kuzatish va materiyaning tanlab olingan harakatiga mos keladigan vaqt o'lchov birliklarini o'rnatish bilangina o'lchashimiz mumkin.

Vaqtning o'lchashda biz ikki savolga duch kelamiz: 1) ikki voqea orasida qancha vaqt o'tgan? 2) Shu voqea qachon bo'lgan?

Birinchi savolga javob berish uchun deyarli o'zgarmaydigan va ishlatilishi qulay bo'lgan vaqt birligi zarur.

Ikkinchi savolga javob berish uchun esa dastlabki biror voqeadan hozirgi voqeagacha o'tgan vaqtning hisoblashda doimo ishlatiladigan hisoblash sistemasi zarur bo'lib, bu sistemada o'lchovning takrorlanuvchi birligi bo'lishi kerak.

Biroq bunday sistemani yaratish uchun to'xtovsiz yuradigan soatlar zarur bo'lib, ularning bir tekisda yurishi vaqt o'lchashdagi talablarni qondirishi lozim. Vaqt oraligini aniq o'lchashga bo'lgan hozirgi zamon talabi shuki, bir sutkadagi xato sekundning mingdan birlaridan ortmasligi kerak. Hozirgi zamon fan va texnikasi saviyasida shunday aniqlik bilan to'xtovsiz yuruvchi soatlar yasash mumkin emas. Ammo, baxtimizga, bir vaqtda vaqtning asosiy birliklarini ham beradigan shunday soat tabiatning o'zida mavjuddir.

Inson eng qadim zamonlardan boshlab vaqt o'tishini kunning tun bilan, keyinchalik esa yil fasllarining davriy almashinib turishiga qarab sezgan. Bu hodisalar, Yer harakatining o'z o'qi va Quyosh atrofida aylanishining aksi ekanini bilamiz. Yerning o'z o'qi atrofida aylanishi (aylanish davrining o'zgarmasligi, foydalanishning qulayligi) vaqtning o'lchash vazifasi talablarini hammadan ko'ra yaxshiroq qondiradi va shuning uchun vaqtning asosiy birligi sutka bo'lib, vaqtning o'lchash astronomiyaning eng muhim amaliy vazifalaridan biri bo'lgan.

Osmon gumbazining ko'rinma harakatiga qarab, Yer aylanishi haqida fikr yuritamiz. Bahorgi tengkunlik nuqtaning ketma-ket ikkita yuqori kulminasiyada bo'lishi orasida o'tgan vaqt yulduz sutkasi deyiladi. Yulduz sutkasi 24 yulduz soatiga, har bir soat 60 yulduz minutiga va har bir minut 60 yulduz sekundiga bo'linadi va bu vaqt s bilan belgilanadi.

Osmon sferasining istalgan nuqtasi singari bahorgi tengkunlik nuqtasi ham sutkali aylanishda qatnashadi va u bir yulduz sutkasida bir xil tezlikda harakatlanib to'la aylana chizadi, ya'ni uning soat burchagi (t soat o'lchovida) bir sutkada 0^h dan 24^h gacha o'zgaradi. Yulduz vaqtning hisoblash ham, soat burchakni hisoblash ham osmon meridianidan boshlanadi. Yer yuzasining har qanday nuqtasi uchun bahorgi tengkunlik nuqtasining soat o'lchovida ifodalangan soat burchagi (t_r) shu joyning yulduz vaqtiga teng bo'ladi: $s = t_r$. Shunday qilib, agar bahorgi tengkunlik nuqtasining soat burchagi ma'lum bo'lsa, shu joydagi yulduz vaqti ma'lum bo'lgan bo'ladi.

Biroq bahorgi tengkunlik nuqtasi osmonda biror ravshan yulduz bilan belgilangan emas. Shuning uchun yulduz vaqti bilan yulduzlarning to'g'ri chiqishi orasidagi bog'lanishdan foydalaniladi.

Biror M nuqta ixtiyoriy yulduzning s paytdagi (yulduz vaqti bilan) o'rni desak: $t_r = \alpha + t$ ekanligi ma'lum, unda quyidagini yozish mumkin: $s = t + \alpha$; $t = 0$ bo'lganda, ya'ni yuqori kulminasiya paytida $s = \alpha$.

Haqiqiy va o'rtacha Quyosh vaqtlari. Vaqt tenglamasi. Ta'rif. Quyosh ko'rinma diski markazining ketma-ket ikkita yuqori kulminasiyalari orasida o'tgan vaqt haqiqiy Quyosh sutkasi deyiladi. Ushbu sutka birligida o'lchanadigan vaqt haqiqiy Quyosh vaqti $T_\odot$ deyiladi. Yulduz vaqti, bahorgi tengkunlik nuqtasining soat burchagi bilan o'lchangani singari, haqiqiy Quyosh sutkasi ham Quyosh ko'rinma diski markazining soat burchagi bilan o'lchanadi, ya'ni $T_\odot = t_\odot$ bo'ladi. Quyoshning soat burchagi $t_\odot$ ni bevosita kuzatishlardan topiladi.

Haqiqiy Quyosh sutkalari bir-biriga katta aniqlikda teng bo'lmaydi. Bu birinchidan, Yerning Quyosh atrofida notekis harakat qilishining Quyoshning harakatini notekis qilib aks ettirishi, ikkinchidan, Quyosh ekliptika bo'ylab harakatlanisa-da, uning soat burchagi ekvator bo'yicha hisoblanishi natijasida sodir bo'ladi.

Quyoshning tengkunlik nuqtasi yaqinida ekliptika bo'ylab o'tgan yoyi, uning soat burchagi o'zgarishini aniqlovchi ekvatoridagi yoydan uzunroqdir; ammo soat aylanalari qutblarda birlashgani uchun, Quyosh turish nuqtasi yaqinida buning aksi bo'ladi.

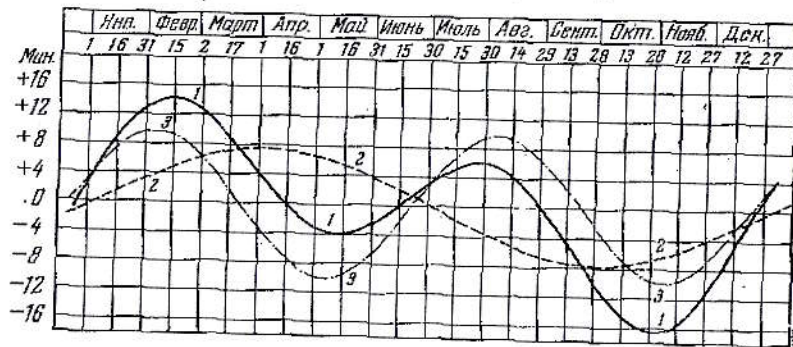
Bularning hammasi haqiqiy Quyosh sutkalarining bir-biridan juda oz bo'lsada farq qilishini ko'rsatadi. Haqiqiy sutkalardan eng uzuni (23 dekabr) bilan eng qisqasi (16 sentyabr) orasidagi farq 51^s ga yetadi, qo'llarimizdagi soatlarni sutkalarining uzun va qisqaligiga qarab yuradigan qilish mumkin emas. Odamlar turmushidagi hamma amaliy ishlar Quyosh sutkasiga bog'liq bo'lganidan, Quyosh bilan bog'liq bo'lgan va haqiqiy Quyosh sutkalaridan kam farq qiladigan anchagina turg'un vaqt birligini kiritish ehtiyoji paydo bo'lgan.

Ekliptikada tekis harakatlanuvchi va perigey ham apogey nuqtasidan Quyosh bilan birga o'tuvchi nuqtani ko'z o'ngimizga keltiraylik. Biroq, haqiqiy Quyosh sutkalarining teng bo'lmashligi ekliptikaning ekvatorga og'maligi tufayli ham ro'y beradi. Shuning uchun, turg'un o'lchov birligini hosil qilishda, ikkinchi hayoliy nuqta kiritiladi. Bu nuqta ekvator bo'ylab bir xil tezlikda harakatlanib, bahorgi tengkunlik nuqtasidan birinchi nuqta bilan bir vaqtda o'tadi. Bu ikkinchi nuqta o'rtacha ekvatorial Quyosh, yoki qisqacha, o'rtacha Quyosh deyiladi.

Ta'rif. O'rtacha Quyoshning ketma-ket ikki quyi kulminasiyalari orasida o'tgan vaqt o'rtacha Quyosh sutkasi deyiladi. O'rtacha Quyoshning soat burchagi o'rtacha Quyosh vaqti (T_m) deyiladi.

O'rtacha vaqt o'rtacha Quyoshning quyi kulminasiyasidan boshlab, soat burchaklari esa meridianing janubiy qismidan boshlab hisoblangani uchun o'rtacha vaqt o'rtacha Quyoshning soat burchagi $+12^h$ ga teng bo'ladi.

O'rtacha sutka 24 o'rtacha soatga, o'rtacha soat 60 o'rtacha minutga, o'rtacha minut 60 o'rtacha sekundga bo'linadi. O'rtacha sutka va buning bo'laklari fanda, texnika va kundalik hayotda qabul qilingan vaqt birliklaridir. Sutka, soat, minut va sekundlar: d, h, m va s harflari bilan belgilanib, oxiriga "yulduz vaqti", "o'rtacha Quyosh vaqti" so'zlari qo'shib yoziladi; masalan: $5^h47^m02^s$ yulduz vaqti, $3^d21^h00^m00^s$ o'rtacha Quyosh vaqti.



2.4-rasm. Vaqt tenglamasining o'zgarishi.

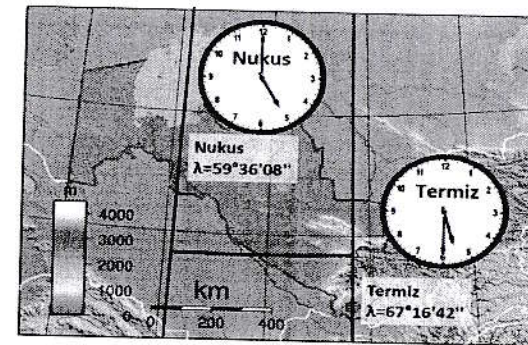
Haqiqiy va o'rta Quyosh vaqtlari ayirmasi **vaqt tenglamasi** deb ataladi:

$$\eta = T_{\odot} - T_m.$$

Bu qiymati kuzatuvdan har kun va soatga aniq topilgan bo'lib, u bir yilda to'rt marta nolga teng (16 aprel, 14 iyun, 1 sentyabr, 24 dekabr), ikkita maksimumga (+16 m 21 s 3 noyabrda va +3 m 49 s 15 mayda) hamda 2ta minimumga (-14 m 24 s 12 fevralda va -8 m 20 s 27 iyulda) ega. Demak, qo'limizdagi soat ko'rsarmasi $T_m = T_{\odot} + \eta$.

2.3-§. Mahalliy va Dunyo vaqtlari. Poyas va dekret vaqtlari. Ular orasida bog'lanish

Yer sharidagi ma'lum bir punkt uchun yulduz yoki Quyosh vaqti shu joy uchun mahalliy vaqti deyiladi. Ma'lum joyning aniq **mahalliy vaqtini** bilish, bu joyning geografik uzunlamasini aniqlash uchun ham zarurdir (12-rasm). Ixtiyoriy λ_1 va λ_2 uzunlamalarga ega bo'lgan punktlarning mahalliy vaqtlari T_1 va T_2 orasida quyidagicha bog'lanish mavjud: $\lambda_1 - \lambda_2 = T_1 - T_2$



2.5-rasm. Termiz va Nukus shaharlari orasidagi mahalliy vaqtlar farqi.

Dunyo vaqti. Uzunlamasi nolga teng bo'lgan meridianning (ya'ni Grinovich meridianining) mahalliy vaqti, shartli ravishda, dunyo vaqti T_0 qilib olingan.

Ixtiyoriy λ uzunlamaga ega bo'lgan punktning mahalliy vaqti T_{λ} , dunyo vaqti T_0 orqali quyidagicha topiladi (chunki $\lambda_0=0$):

$$T_{\lambda} = T_0 + \lambda$$

Poyas vaqti. Yer sharida cheksiz ko'p meridian o'tkazish mumkin bo'lib, ularga tegishli mahalliy vaqtlar ham cheksiz ko'p bo'ladi. Shuning uchun ham amalda mahalliy vaqtdan foydalanib bo'lmaydi. Shu boisdan, Xalqaro kelishuvga muvofiq, Yer shari 24 ta poyasga bo'lingan. Har bir poyas uchun alohida vaqt belgilanadi. Ular bir-biridan uzunlamalari o'rtacha 15° farq qiluvchi meridianlar bilan chegaralanadi va tartib bilan 0 dan 23 gacha (0, 1, 2, 3, ..., 23) raqamlanadi. Har bir poyas uchun bitta meridian asosiy meridian qilib olinadi. Asosiy meridianlarning uzunliklari (λ) mos ravishda 0h, 1h, 2h, 3h, 4h, ..., 23h qilib qabul qilingan. Bunda uzunligi 0° bo'lgan meridian 0-poyas o'rtasidan, 1h bo'lgan meridian esa 1-poyas o'rtasidan o'tadigan va h.k. qilib olinadi.

Bunda ixtiyoriy N nomerli poyasning poyas vaqti qilib, shu poyas o'rtasidan o'tgan asosiy meridianning mahalliy vaqti olinadi. Ixtiyoriy λ_m uzunlamali joyning mahalliy va u joylashgan poyasning vaqtlari o'rtasida quyidagicha bog'lanish mavjud:

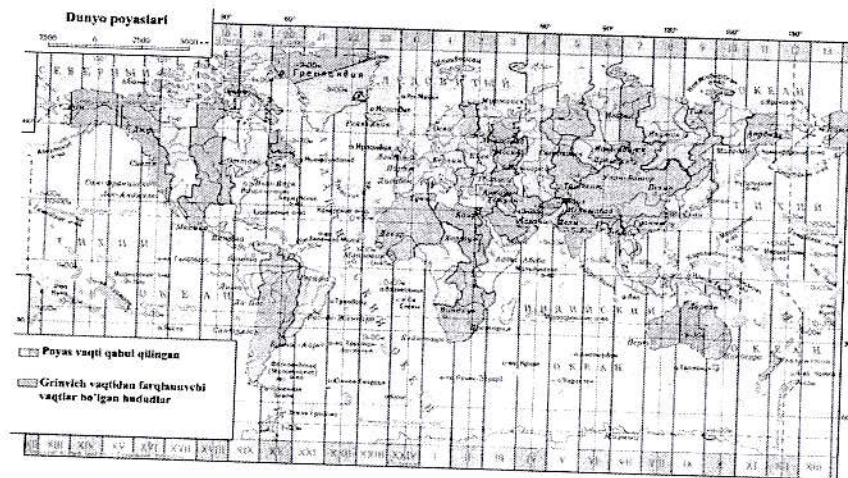
$$\lambda_m - \lambda_{as} = T_m - T_p$$

chunki λ_{as} - mazkur poyasning asosiy meridianning uzunlamasini, T_p - uning vaqtini, T_m esa λ_m uzunlama meridianiga tegishli mahalliy vaqtni ifodalaydi.

Aslida $\lambda_{as} = N^h$ bo'lganidan, bu ifoda ko'pincha $\lambda_m - N^h = T_m - T_p$ ko'rinishida yoziladi. Shu bois, poyas vaqti (T_p) berilgan bo'lsa, mahalliy

vaqtni (T_m) yoki, aksincha poyas vaqtini topish quyidagi tenglamalar yordamida bajariladi:

$$T_p = T_m - \lambda_m + N^h \quad \text{yoki} \quad T_m = T_p - N^h + \lambda$$



2.6-rasm. Vaqt poyaslari.

Kun o'zgarish chizig'i. Har qanday meridianda o'rtacha sutka o'rtacha Quyoshning quyi kulminatsiya paytidan boshlanadi. Agar ma'lum meridiandan sharq tomonga yurilsa, sutka oldinroq, g'arb tomonga yurilsa, dastlabki meridiandagiga qaraganda keyinroq boshlanadi.

Sharqqa qarab 180° ga yurilsa, sutka 12 soat oldin boshlanadi va shu yo'nalishda Yerni to'liq aylanib chiqilsa, sutka 24 soat oldin boshlangan bo'ladi. Yer sharining to'la aylanishda kunlarning o'tishini uzluksiz sanashning natijasi bir kunga ortiq yoki bir kunga kam bo'lib chiqishi ana shunday sodir bo'ladi.

Soat poyaslarining hammasida sutkalarni hisoblash umumiy taqvim bilan olib borilgani uchun, har bir sutka qaysi chiziqdan boshlanishini shartlashib olish zarur. Bu chiziq Grinвичdan 180° uzoqdagi meridian yaqinidan o'tgan bo'lib, uni kun o'zgaradigan chiziq deyiladi. Uning aniq vaziyati xalqaro kelishuvga muvofiq, hech qaerda aholi yashaydigan (Antarktidani hisoblamaganda) quruqlikdan o'tmaydi. Sharqdan g'arbga tomon yurishda bu chiziqni kesib o'tuvchi chisloni bir kunga oshirish va g'arbdan sharqqa tomon yurishda bir kunga kamaytirish kerak. Lekin sutka davomida taqvim kunini o'zgartirmaslik uchun quyidagicha ish tutiladi: yarim kechagacha eski vaqt hisobini saqlab, keyin Amerikadan Osiyoga o'tishda bir kunni ikki marta hisobga kiritadilar. Masalan, Amerikadan Osiyoga o'tishda

sana o'zgaradigan chiziqqa yaqin kun 25 may bo'lsa, yarim kechadan keyin 26 ning o'rniga 27 may deyiladi, agar yo'nalish bunga teskari bo'lsa, yarim kechadan keyin yana 25 may deyiladi.

2.4-§. Kalendarlar.

Uzoq muddatlarni yillarga, oylarga, haftalarga, kunlarga bo'lib hisoblash sistemasi taqvim (kalendar) deyiladi. Eng qadim zamonlardayoq uzoq muddatlarni hisoblashda (365.2422 o'rtacha sutkaga teng bo'lgan) yil fasllarining almashish davri – tropik yil asos qilib olingan edi. Biroq, tropik yil o'rtacha sutka bilan, shuningdek boshqa o'lchov birligi – Oy oyi (Oyning ma'lum bir fazasining takrorlanishi orasida o'tadigan 29.531 o'rtacha sutka) bilan oddiy nisbatda bo'lmaydi. Bundan tashqari, bu birliklar o'zaro bir-biriga bog'liq emas, chunki ularning har biri Yer va Oy harakatiga bog'liq bo'lgan tabiiy xodisalarni aniqlaydi.

Tropik yildagi sutkalar soni butun emas. Ammo, biz ishlatadigan yillar, ya'ni taqvim yillari butun (365 yoki 366) o'rtacha sutkalarga teng bo'ladi. 366 sutkali kabisa yili taqvim yilini tropik yilga moslashtirish uchun kirgiziladi. Bu holda yil fasllarining boshlanishi taqvimda o'zgarmas bo'ladi.

Umuman, bir so'z bilan aytganda hamma taqvimlarni uch turga ajratish mumkin: Quyosh taqvimi, Oy taqvimi va Oy-Quyosh taqvimi. Quyosh taqvimi asosida tropik yil davomiyligi, Oy taqvimi asosida sinodik Oy davomiyligi yotadi. Oy-Quyosh taqvimi shu ikkala davrga asoslangan. Hozirgi vaqtda ko'pchilik mamlakatlarda qabul qilingan taqvim Quyosh taqvimidir.

Rim taqvimi hozirgi zamon taqvimining kelib chiqishiga sabab bo'lgan. Rimliklar, avval 12 oy oyidan, ya'ni 354 kundan iborat bo'lgan oy yilidan foydalanganlar. Bu tropik yildan 11 kun kam bo'lgani uchun, taqvim sanalarini yil fasllari bilan moslashtirish maqsadida har ikki yildan keyin oraga 22 yoki 23 kunli qo'shimcha oy kiritilgan. Bu qo'shimcha oy mamlakatning hamma ishlarida katta kelishmovchilik tug'dirgan, chunki bunday qo'shimcha oyni ruhoniylar boshlig'i o'zi istagancha xatoliklar bilan kiritavergan.

Bunday tartibsizlik Yuliy Sezarning astronom Sozigen ishtirokida o'tkazgan reformasi bilan tugatildi. Eramizdan oldingi 46-yilda chiqarilgan farmonga muvofiq bir yil 365 kun bo'lib, har to'rtinchi (kabisa) yili undan bir kun ortiq bo'lishligi belgilandi.

Shunday qilib, yulian yilining o'rtacha uzunligi 365 kun 6 soatga teng. Bu yil tropik yildan 0.0078 yil yoki 11 min. 14 sek. ortiq. Bu ayirma asta-sekin yig'ilib borib, 400 yilda uch sutkadan oshadi. Shuning uchun tengkunlik va Quyoshturish nuqtalari asta-sekin oldingi sanalarga o'tib, har 400 yilda uch kun ilgari keladi. Shu sababli, Rim papasi Grigoriy XIII italiyalik tabib Lilio 1576 yilda taklif etgan loyixaga asosan taqvimga yangi isloxatni kiritishga

qaror qildi va bu isloxot 1582 y. 1 martdagi farmonga muvofiq amalga oshirildi. Reforma quyidagicha bo'lgan:

1) 1582 y. 4 oktyabrdan keyin 5 oktyabr demay, birdaniga 15 oktyabr deyishga buyruq berildi. Shu bilan 1200 yilda yig'ilgan xato tuzatildi va keyingi yildagi bahor yana 21 martdan boshlandi;

2) kelajakda xatolar yana yig'ilmasligi uchun har 400 yilda yulian taqvimi bilan Quyosh orasida yig'ilib qoladigan uch kunni hisobdan chiqarib tashlash kiritildi. Bunda kabisa yillarning takrorlanish qoidasini o'zgartirishga to'g'ri keldi va unga bunday shakl berildi: faqat to'rtga bo'linadigan, yani 1988, 1992, 1996 ... va h.k., yillar kabisa yil deb hisoblanadigan bo'ldi. Lekin 1700, 1800, ... kabi yillarda yuzliklarining soni to'rtga bo'linmaydiganlari kabisa yillari hisoblanmaydi (masalan, 1700, 1800, 1900, 2100, 2200 yillar kabisa yili emas). Yangi va eski xisoblash usulari orasidagi farq XVI asrda 10 kunga yetdi.

Yillar hisobining boshlanish vaqti - taqvim erasi - shartli qabul qilingan tushuncha. Qadimgi Misrda yillarni fir'avnlarining taxtga chiqish paytidan boshlab hisoblaganlar. Rimliklar ko'p vaqtlargacha Rim shahrining qurilgan yili deb hisoblangan vaqtdan yil hisobini boshlaganlar. Taqvim erasini turli mamlakatlarda turlicha hisoblanishi noqulaylik tug'dirgan. Shuning uchun, rimlik ruhoniylar Dionisiy "Rim asoslanishi" dan boshlab o'tgan 1284 yilni mutlaqo asossiz "Iso tug'ilishi" ning 532 yili deb hisoblashni taklif etdi. Kelgusi yillarni "Rim asoslangan" dan keyin 1285, 1286 yillar deyish o'rniga "Iso tug'ilgandan" 533, 534 - yillar deb hisoblab ketganlar. Hozir ham yillar shu hisobda olib borilmoqda. Bu taqvim erasi ko'pchilik mamlakatlarda qabul qilingan bo'lganidan qulaylik uchun bizda ham qo'llanilib kelindi.

Umar Hayyom taqvimi. Umar Hayyom kalendarida kabisa yili, 33 yilda 8 marta kelib (rimliklar taqvimida 32 yilda), dastlabki 7 tasi har to'rtinchi yilda, oxirgi 8-si esa 5-yili keladigan etib qabul qilindi. Boshqacha aytganda, 33 yillik davrning 4-, 8-, 12-, 16-, 20-, 24-, 28- va 33- yillari kabisa yillari sanalib, 366 kundan qilindi, qolgan 25 yili 365 kundan edi.

Umar Hayyom kalendarida yilning o'rtacha uzunligi 365,24242 kunga teng bo'lib, tropik yilning haqiqiy uzunligidan (365,24220 kun) atigi 0,00022 sutkaga, ya'ni 19,5 sekundgagina uzun edi, xolos. Bu xatolik shu qadar kichik ediki, u yig'ilib-yig'ilib 4500 yil o'tgandan so'nggina 1 kunga yetardi. Biz ishlatayotgan grigorian kalendarining xatosi bir kunga yetishi uchun esa 3300 yil (ya'ni Hayyom kalendaridagidan 1200 yil kam vaqt) kerak bo'ladi.

Oy-Quyosh kalendarlari. Oy-Quyosh kalendarlari Oy va Quyoshning ko'rinma harakatlari davriyligiga asoslangan kalendar hisoblanadi.

Sinodik oyning davomiyligi 29.53059, tropik yil esa 365.2422 kun. Demak, tropik yilda 12,36827 sinodik oy mavjud. Shunday qilib, kalendar yili 12 (muntazam yil) yoki 13 kalendar oydan iborat bo'lishi mumkin. Kalendar

yilining o'rtacha davomiyligi tropik yil davomiyligiga yaqin bo'lishi uchun qo'shimcha oylarni kiritish tizimi talab etiladi.

Sakkiz yillik siklli yoki "oktaeterid" qadimiy Bobilda va Yunonistonda ishlatilgan bo'lib, u qadimgi yunon astrologi Kleostrat tomonidan taklif etilgan. Unga ko'ra 8 ta tropik yil 2922 kunga teng, bunda esa 99 ta sinodik oy olinadi. Darhaqiqat, 99 tasinodik oyning davomiyligi 2923,53 kunni tashkil etadi, bu esa 8 yil ichida 1,53 kunlik kalendar xatolikni keltirib chiqaradi. Yunon olimi Meton 19 yillik siklli kalendaritaklif qilgan.

Musulmon mamlakatlarda Oy taqvimi bo'yicha yil hisoblash Muhammad payg'ambar boshliq musulmonlarning Makkadan Madinaga ko'chishi (hijr) dan boshlanadi. Shu sababli bu taqvim sistemasi hijriy (X) deb ataladi. Boshlang'ich sana Grigorian taqvimi (G) hisobida 622 yilning 16 iyuliga to'g'ri keladi.

Hijriy yil hisobdan Grigorian taqvimiga o'tishda $G = X + 622 - X / 33$, aksincha o'tishda $X = G - 622 + (G - 622) / 32$ taxminiy formulalardan foydalanish mumkin. Bunda 34 qamariy yil 32 Quyosh yiliga teng ekanligi, Oy taqvimi hisob boshi 16 iyul 622 yil, yil davomida hijriy yil boshi siljib turishi hisobga olingan, masalan, 1976 yil 1396 yil hijriyga to'g'ri keladi:

$$X = 1976 - 622 + (1976 - 622) / 32 = 1354 + 42 = 1396,$$

(1354 / 32 ning faqat butun qismi qo'shiladi).

Bu formulalardan foydalanganda 1 yilga xato chiqishi mumkin. Chunki hijriy taqvim yilining boshlanishi Grigorian taqvimi boshiga to'g'ri kelmaydi. Aniq o'tishlar uchun maxsus jadvallar bor.

Grigorian taqvimi ham yulian kalendarlari singari juda aniq emas. Ammo uning xatosi juda kam bo'lib, 400 yilda faqat $2^h 53^m$ ga yetadi, binobarin, 3300 yilda yig'ilgan xato bir kunga yetadi. Bunday aniqlik kundalik hayot uchun yetarli deyish mumkin.

Mashhur astronom, matematik va shoir Umar Xayyom (XI asr) taklif etgan Shamsiy taqvimi yanada katta aniqlikka ega.

Bu taqvimda yilning davomiyligi 365 yoki 366 sutkadan iborat. Ammo kabisa yillarni hisoblash sistemasi Yulian va Grigorian taqvimlaridan farq qiladi. Umar Xayyom taqvimlarida har bir 33 yillik davr ichida 25 ta oddiy, 8 ta kabisa yil bo'lib, kabisa yillarning yettitasi har uch yildan keyingi yilda, sakkizinchi to'rt yildan keyingi beshinchi yilda keladi, ya'ni 33 yillik davrdan 4, 8, 12, 16, 20, 24, 28 va 33-yillar kabisa bo'lib hisoblangan. Shu yo'l bilan yil boshi (Navro'z) bahorgi tengkunlikka to'g'rilab turilgan. Shunday qilib, Umar Xayyom taqvimiga binoan 1 yil = 365.2422 sutkaga teng bo'ladi.

Bu davr tropik yil davomiyligidan (365.24220) atigi 0.00022 sutkaga farq qiladi, ya'ni 4500 yilda bir sutka xato beradi. Demak, Umar Xayyom taqvimi Grigorian taqvimidan ham aniq. Lekin bu taqvimlarning barchasida o'ziga yarasha ma'lum noqulayliklari mavjud (oylar uzunligi ketma-ket bir hil emas, ularning birinchi kuni haftaning xoxlagan kuniga to'g'ri keladi, birinchi

kun yildan-yilga hafta bo'ylab surilib boradi, har yili qayta nashr etilishi lozim va h.k.). Bu noqulayliklari xal etilgan dunyo kalendari loyihasi ishlab chiqilgan.

Yil fasllari almashuvi va issiqlik poyaslari. Quyoshning yillik harakatidagi muhim paytlar quyidagilardir:

21 mart: bahorgi tengkunlik. Quyosh janubiy yarim shardan shimoliy yarim sharga o'tishda ekvatorni Y nuqtada kesadi. Yerning shimoliy yarim sharida astronomik bahor boshlanadi.

22 iyun: yozgi Quyoshturishi. Shimoliy yarim sharda yoz boshi. Quyoshning shimoliy og'ishi eng katta miqdor: $\delta = +\epsilon$ ga yetadi, uning tushki balanligi bir necha kun davomida deyarli o'zgarmaydi. Shimoliy yarim sharda kunduzi eng uzun, janubiy yarim sharda esa eng qisqa bo'ladi.

23 sentyabr: kuzgi tengkunlik. Quyosh ekvatorni kuzgi tengkunlik nuqta Ω da kesib, janubiy yarim sharga o'tadi, shimoliy yarim shar uchun kuz boshi.

22 dekabr: qishki Quyoshturishi: qish boshi. Quyoshning janubiy og'ishi eng katta miqdor: $\delta = -\epsilon$ ga yetadi, shimoliy yarim sharda kunduzi eng qisqa bo'ladi.

Yer sharining $66^{\circ}33' \leq \varphi \leq +90^{\circ}$ va $-90^{\circ} \leq \varphi \leq -66^{\circ}33'$ kenglamalari orasidagi sohalarga sovuq iqlim poyaslari deyiladi. Sovuq iqlim poyaslariga to'g'ri keladigan joylar Yer qutblariga qancha yaqin bo'lsa, u yerlarda Quyosh botmaydigan kunlar soni shuncha ko'p bo'ladi. Quyosh chiqmaydigan qutb kechalarining soni bir kundan 6 oygacha ortib boradi.

Yer yuzining $23^{\circ}27' < \varphi < 66^{\circ}33'$ va $-66^{\circ}33' < \varphi < -23^{\circ}27'$ kenglamalari orasidagi joylar o'rtacha iqlim poyaslariga kiradi. O'rta iqlim poyaslarida joylashgan punktlarda Quyosh har kuni chiqib botadi va biror marotaba ham zenitdan o'tmaydi. O'zbekiston territoriyasi o'rta iqlim poyasiga kiradi.

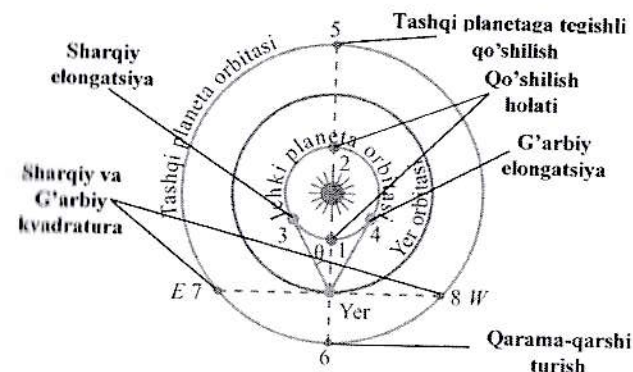
Tropik chiziqlari orasidagi joylar ($-23^{\circ}27' \leq \varphi \leq +23^{\circ}27'$) issiq iqlim poyasi deyiladi.

Biz Yer yuzidagi iqlim poyaslarini Quyoshning ko'rinma harakati asosida tekshirdik. Aslida iqlim poyaslari Yerning Quyosh atrofida va o'z o'qi atrofida aylanishidagi ba'zi xususiyatlaridan hosil bo'lgan. Ular Yerning sutkalik aylanish o'qini orbita tekisligiga o'rta hisobda $66^{\circ}33'$ burchak ostida qiya joylashganligi tufaylidir.

III BOB. OSMON MEXANIKASI ELEMENTLARI: SAYYORALAR HARAKATI

3.1-§. Planetalarning konfiguratsiyalari, siderik va sinodik davrlari. Kepler qonunlari

Sayyoralar konfiguratsiyalari. Sayyoralarning Yerga va Quyoshga nisbatan fazoda egallagan maxsus vaziyatlariga ularning konfiguratsiyalari deyiladi.



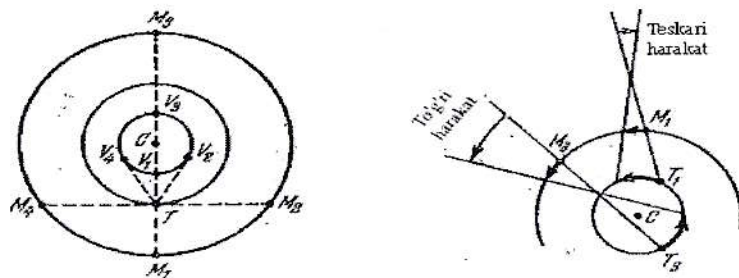
3.1-rasm. Sayyoralar konfiguratsiyalari.

Bu konfiguratsiyalar quyi va yuqori sayyoralar uchun turlichadir.

Quyi sayyoralarga faqat ikkita sayyora – Merkuriy va Venera kiradi. Ular Yerga nisbatan Quyoshga yaqinroq joylashgani uchun Quyosh atrofida kattaroq tezlik bilan harakatlanadilar va aylanish davrlari ancha kichik, Quyosh atrofida biror quyi sayyora (V_1, V_2, V_3) bilan Yer (T) orbitasidagi vaziyatlari, shuningdek, osmonning sharqdan g'arbga tomon yo'nalishda sutkalik aylanishi tasvirlangan bo'lsin (14-rasm). Sayyora Quyosh bilan Yer (T) orasidan o'tayotgan vaziyatdagi konfiguratsiya (1) Quyosh bilan quyi qo'shilish deyiladi, bunda sayyoraning geotsentrik uzunlamasi Quyoshning geotsentrik uzunlamasiga teng bo'ladi, uning geliotsentrik uzunlamasi Yerning geliotsentrik uzunlamasi - λ ga teng, geotsentrik masofa (Yergacha masofa) eng kichik bo'lib, sayyoraning burchak (ko'rinma) diametri esa eng katta bo'ladi. Sayyora quyi qo'shilishi joyi atrofida teskari yo'nalishda (fazoda to'g'ri yo'nalish bilan mos tushuvchi) harakatlanadi, gorizontdan yuqorida faqat kunduzi Quyoshga yaqin joyda bo'lgani uchun ko'rinmaydi. Sayyora Yerga yoritilmagan tomoni bilan o'girilgan bo'lib, teleskopda o'roq shaklidagi fassasi ko'rinadi. Shundan so'ng Yer T, sayyora esa, ikki vaziyatlariga siljiydilar

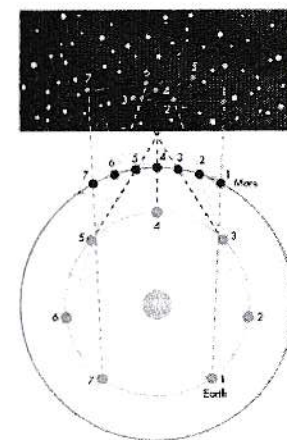
va g'arbga, Quyoshning o'ng tomoni o'tishadi - g'arbiy uzoqlashish yoki g'arbiy elongatsiya hosil bo'ladi, bunda $\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0 < 0$ va $l > l_0$.

Sayyora Quyoshdan oldin botib, Quyosh chiqishidan oldin osmonning sharq tomonida tongi shafaq nurlarida ko'rinadi, Sayyoraning o'roq fazasining qavariq tomoni sharq, ya'ni Quyosh tomon qarab turadi. Sayyoraning g'arbiy elongatsiyasi ortgan sari fazasi ko'rinish davomiyligi va geotsentrik masofa ortib, burchak o'lchamlari esa kamayib boradi. Ma'lum vaqtdan so'ng sayyoraning turishi kuzatiladi, uning teskari harakati to'g'ri yo'nalishdagi harakat bilan almashadi, nihoyat eng katta g'arbiy elongatsiya $\Delta\lambda_m = (\lambda_0 - \lambda)_m$ hosil bo'ladi, bunda Yer bilan sayyorani birlashtiruvchi to'g'ri chiziq sayyora orbitasiga urunma hosil qiladi va $l - l_0 = 90^\circ - \Delta\lambda_m$ (3 vaziyat). Endi sayyora diskining yarmi (faza) bo'ladi.



3.2-rasm. Sayyoralarning sirtmoqsimon hamda to'g'ri va teskari harakatlarini tushuntirish.

Eng katta g'arbiy elongatsiyadan so'ng sayyora Quyoshga g'arb tomondan yaqinlasha boradi (4 vaziyat), elongatsiya kamayib, faza ortib boradi, geotsentrik masofa ortib boradi, tonggi ko'rinish davomiyligi kamayib boradi va nihoyat, Quyosh bilan yuqori qo'shilish (5 vaziyat) vaqtida ko'zga ko'rinmay qoladi. U holatda sayyora Quyosh orqasiga o'tib ketadi, $\lambda = \lambda_0$, $l - l_0 = 180^\circ$ geotsentrik masofa o'zining eng katta qiymatiga erishadi, burchak o'lcham eng kichik, faza esa birga teng. Bundan keyin sayyora Quyoshga nisbatan chaproq (sharq tomon) siljiydi, uning sharqiy elongatsiyasi boshlanadi. Bunda $\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0 > 0$ va $l < l_0$ geotsentrik masofa va faza kamayib boradi, burchak diametri ortib boradi, sayyora Quyosh botgandan so'ng botadi. Eng katta sharqiy elongatsiyada (6 vaziyat) $\Delta\lambda_m = (\lambda - \lambda_0)_m$, $l_0 - l = 90^\circ - \lambda_m$ qavariq tomoni Quyoshga qaragan bo'ladi. Shundan so'ng, sayyora Quyoshga sharq tomondan yaqinlashadi, yana to'xtash sodir bo'ladi, to'g'ri yo'nalishdagi harakat teskari yo'nalish bilan almashadi va nihoyat, yana quyi qo'shilish takrorlanadi.



3.3-rasm. Sayyoralarning ko'rinma sirtmoqsimon harakatini yushuntirish.

Yuqori sayyoralar Yer orbitasidan kattaroq orbitalarda harakatlanadilar va ularning tezligi Yer tezligidan kam. Qo'shilish deb ataladigan konfiguratsiyada sayyora Quyosh orqasida bo'ladi, $\lambda = \lambda_0$ va $l - l_0 = 180^\circ$. Yer harakati tufayli Quyosh ekliptika bo'ylab sharq tomon sayyoradan tezroq harakatlanadi, sayyora esa shu to'g'ri yo'nalishda harakatlanib Quyoshga g'arb tomon kechikadi va sharq tomonda Quyosh chiqishidan oldin paydo bo'ladi, G'arbiy uzoqlashish ortgan sari sayyora barvaqtroq chiqa boradi, ko'rinish davomiyligi va burchak diametri ortib boradi, geotsentrik masofa esa kamayib boradi. G'arb uzoqlashish $\Delta\lambda = \lambda_0 - \lambda = 90^\circ$ bo'lganda g'arbiy kvadratura konfiguratsiyasi hosil bo'ladi, bunda sayyora tunnig yarmidan chiqadi. To'g'ri yo'nalishda harakatlanib, Quyoshdan orqada qolib boradi ($\Delta\lambda = \lambda_0 - \lambda > 90^\circ$) va osmonning qarama-qarshi tomonda paydo bo'ladi - ro'para turish konfiguratsiyasi, bunda sayyoraning Quyoshdan kechikishi $\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0 = 180^\circ$ va $l = l_0$. Bunday vaziyat sayyorani kuzatish uchun eng qulay vaziyatdir, chunki kechqurun chiqib, tun bo'yi ko'rinadi, Yerga maksimal yaqinlashadi, shuning uchun eng katta burchak o'lchamiga ega. Bu paytda Yer sayyorani quvib o'tadi, shuning uchun Yerdagi kuzatuvchi uchun sayyora to'xtab qolgan bo'lib tuyiladi, so'ng qandaydir vaqt teskari harakatlanib boshlaydi, yana to'xtaydi va nihoyat to'g'ri yo'nalishda harakatini davom ettiradi. Orbitasining og'maligi tufayli uning ko'rinma yo'li sirtmoqsimon bo'lib tuyuladi.

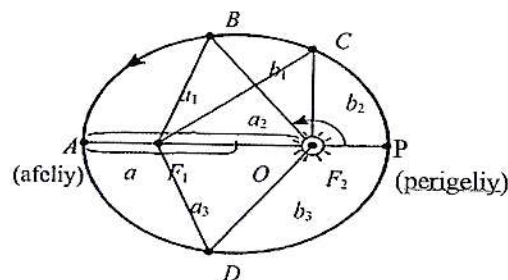
Ro'para turishdan keyin sayyora asta-sekin Quyoshga yaqinlashib boradi. Har kuni sayyoraning botishi barvaqtroq sodir bo'ladi, geotsentrik

masofa ortib boradi, ko'rinma o'lchamlari esa kamayib boradi. Sayyoraning Quyoshdan sharqiy uzoqlashishi $\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0 = 90^\circ$ gacha kamayganda, sharqiy kvadratura konfiguratsiyasi hosil bo'ladi, bunda sayyora tun yarmida botadi. Nihoyat, u kechki shafaq nurlaridagina ko'rina boshlaydi, shundan so'ng, Quyosh nurlarida ko'rinmay qoladi - Quyosh bilan qo'shilishi sodir bo'ladi.

1600 yili Iogann Kepler Tixo Brage taklifi bilan Pragaga hamkorlikda ishlash uchun keladi. U yerda T. Brage tomonidan o'tkazilgan kuzatuv natijalari bo'yicha sayyoralar harakat jadvallari tuzishga kirishiladi. Kopernikning hisoblaridan foydalangan holda Kepler emperik yo'l bilan sayyoralarning harakatidagi qonuniyatlarini topadi va "Yangi astronomiya" (1609 y) kitobida ularni e'lon qiladi. Bu qonunlar mazmuni quyidagilardan iborat:

I-qonun. Hamma sayyoralar Quyosh atrofida elliptik orbitalar bo'yicha harakatlanadilar, bu ellipslar fokuslaridan birida Quyosh joylashgan. Elliptik orbitaning katta o'qi $AP=2a$, markazi O va fokal masofasi $OC = c$ bo'lsin. Orbitaning Quyoshga eng yaqin nuqtasi Π - perigeliy, eng uzoq nuqtasi A - esa afeliy deyiladi, katta o'qning o'zi apsidlar chizig'i deb ham ataladi. P sayyora Quyosh atrofida harakatlanayotganda uning radius-vektor deb ataluvchi geliotsentrik masofasi o'zgarib turadi va vaqtning istalgan paytidagi sayyoraning orbitadagi vaziyati r radius-vektor va haqiqiy anomaliya $\vartheta = \angle n, m = nm$, ya'ni sayyoraning harakatlanayotgan tomonga perigeliydan burchak uzoqlashishi bilan aniqlanadi. r - radius-vektor va ϑ - haqiqiy anomoliya o'zaro ellips tenglamasi orqali bog'langan:

$$r = \frac{a(1-e^2)}{1+e\cos\vartheta}$$



3.4-rasm. Keplerning birinchi qonuni.

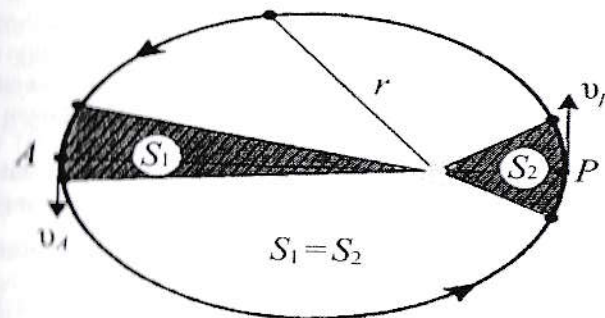
bu yerda e - orbitaning eksentrisiteti. Sayyora orbita bo'ylab to'liq aylanib chiqishi uchun ketgan vaqt oralig'i yulduz yoki siderik aylanish davri deyiladi. Bu vaqt oralig'ida ϑ haqiqiy anomaliya 0° dan 360° gacha, radius-vektor esa eng kichik qiymat q dan ($\vartheta = 0^\circ$ perigeliy masofasi $q = C\Pi$) eng katta qiymat Q gacha ($\vartheta = 180^\circ$ afeliy masofasi, $Q = CA$) o'zgaradi. Bunda

perigeliy masofasi $q = a - c$, afeliy masofasi esa $Q = a + c$. Yerdan Quyoshgacha bo'lgan o'rtacha masofa Quyosh sistemasida masofa o'lchov birligi sifatida qabul qilinib, astronomik birlik (a.b.) deb ataladi. Zamonaviy o'lchovlar natijalariga ko'ra $a_0 = 1 \text{ a.b.} = 149.6 \cdot 10^6 \text{ km}$ ga teng.

II-qonun, Yuzalar qonuni. Sayyoraning radius-vektori vaqt oralig'iga to'g'ri proporsional bo'lgan yuzalar chizadi. Agarda Δt_1 vaqt oralig'ida sayyora P_1P_2 , Δt_2 oraliqda esa P_3P_4 yo'lni bosib o'tgan bo'lsin, xuddi shu vaqt oralig'larida sayyoraning radius-vektori σ_1 (P_1CP_2 sektorining yuzasi) va σ_2 (P_3CP_4 sektorining yuzasi) yuzalarini chizadi, bunda $\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}$. Sayyoraning radius-vektori vaqt birligida chizadigan yuzasi uni sektorial tezligi deyiladi.

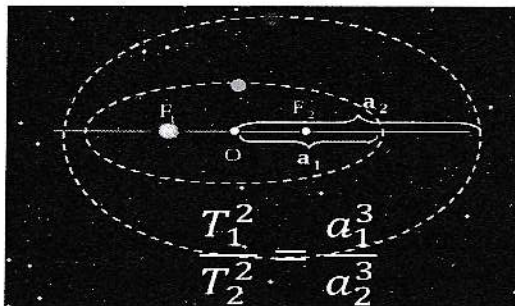
Yuqoridagi tenglikda sektorial tezlik $v = \frac{\sigma_1}{\Delta t_1} = \frac{\sigma_2}{\Delta t_2} = \dots = \frac{\sigma_n}{\Delta t_n} = \text{const}$ ekanligi

kelib chiqadi. Shuning uchun, Keplerning ikkinchi qonunini boshqacharoq, ya'ni sayyoraning sektorial tezligi o'zgaras kattalikdir deb ham talqin etiladi. Keplerning ikkinchi qonuni harakat miqdori momenti (impuls momenti) saqlanish umumiy qonunining xususiy holidir. Ikki jism masalasining tenglamalari $ma_x = F_x$ va $ma_y = F_y$ mos ravishda y va x ga ko'paytirilib, natijalarini ayiraylik. Unda kuch markaziy ekanligi, ya'ni $yF_x = xF_y$ sababli $x \frac{dy}{dt} - y \frac{dx}{dt} = \text{const}$ kelib chiqadi. Agar qutb koordinatalar sistemasiga o'tsak, $r^2 \frac{d\vartheta}{dt} = \text{const}$. Shuning uchun eng katta ϑ_q tezlikga sayyora perigeliyda, eng kichik ϑ_q tezlikga esa afeliyda ega bo'ladi.



3.5-rasm. Keplerning ikkinchi qonuni.

III-qonun. Sayyorani siderik aylanish davri T kvadrati uning Quyoshgacha bo'lgan o'rtacha masofalarining kublariga (orbitalarini katta yarim o'q kublariga) teng.



3.6-rasm. Keplerning uchinchi qonuni.

Agar bitta sayyoraning siderik aylanish davri T_1 va o'rtacha geliotsentrik masofasi a_1 , ikkinchi sayyora uchun mos ravishda T_2 va a_2 larga teng bo'lsa, unda $\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}$, bundan $\frac{T_1^2}{a_1^3} = \frac{T_2^2}{a_2^3} = \frac{T_3^2}{a_3^3} = \dots = \frac{T^2}{a^3} = C$. C butun Quyosh

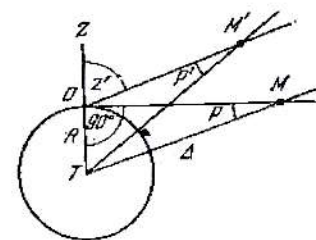
sistemasi uchun o'zgaras kattalik bo'lib, Keplerning uchinchi qonuni konstantasi deb ataladi va uning qiymati qabul qilingan o'lchov birliklariga bog'liq. Agarda T ni Yerning aylanish davrlarida (yulduz yili) va a ni astronomik birliklarda (a.b.) olsak, unda Yer uchun $T=1$, $a=1$, bundan $C=1$, unda istalgan sayyora uchun $T^2=a^3$, bundan kuzatuvlardan olingan Quyosh atrofidagi osmon jismlari aylanish davrlaridan (yulduz yillarida) ularning o'rtacha geliotsentrik masofalarini (astronomik birliklarida) hisoblab chiqish mumkin bo'ladi. Keplerning 3-qonunining aniq matematik ifodasi ancha keyin topilib, u aslida quyidagicha: $\frac{T_1^2(M_1 + m_1)}{T_2^2(M_2 + m_2)} = \frac{a_1^3}{a_2^3}$. Bu yerda massalari m_1 va m_2

bo'lgan jismlar mos ravishda M_1 va M_2 massali jismlar atrofida mustaqil harakatlanuvchi ikkita sistema olingan. Ularning katta yarim o'qlari a_1 va a_2 . U Nyuton - Kepler formulasi ham deyiladi. Ushbu aniq formula qator masalalarni yechishda qo'llaniladi.

Berilgan bazis masofani yoritgichdan ko'rinma burchagiga parallaks deyiladi. Parallaks ikki xil bo'ladi: sutkalik va yillik. Parallaks tushunchasi amalda keng qo'llanib, xususan, yoritgichlarga bo'lgan masofalarni aniqlashda qo'l keladi.

Quyosh sistemasidagi jismlargacha bo'lgan masofalarni aniqlashda bazi masofa sifatida Yerning ekvatorial radiusi $R_{Yer}=6378$ km olinadi. Uchi yoritkichda yotgan va tomonlari bilan Yer radiusiga tayanuvchi ρ burchakka nisbatan parallaks deyiladi. Hosil bo'lgan uchburchakka oddiy sinuslar teoremini qo'llasak,

$$\frac{\sin \rho}{\sin(180^\circ - z)} = \frac{R}{\Delta}, \text{ yoki } \sin \rho = \frac{R}{\Delta} \sin z \text{ bo'ladi.}$$



3.7-rasm. Paralaks.

Yoritgich aniq gorizontda bo'lganida, uning sutkalik parallaksi maksimal qiymat ρ_0 ga erishib, u gorizontal parallaks deyiladi. Masalan, uning qiymati Oy uchun $57'$, Quyosh uchun $8''.79$, sayyoralar uchun $1'$ dan kam. To'g'ri burchakli uchburchak MOT dan $\sin \rho_0 = \frac{R}{\Delta}$. $\sin \rho = \sin \rho_0 \sin z$. Oydan fashqari, barcha yoritgichlarning parallaksleri $1'$ dan kichik bo'lganligidan yuqoridagi formulani $\rho = \rho_0 \sin z$ ko'rinishida yozish mumkin.

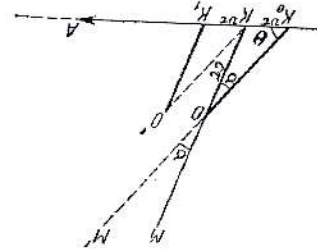
Ta'rif. Yoritgichdan qaralganda, Yer orbitasi radiusining ko'rinma burchagi yillik parallaks deyiladi. Yulduzlar parallaksini topish uchun bazis masofa kattaroq bo'lishi kerak. Yillik parallaks π harf bilan belgilanadi va $\frac{\pi}{1''} = \frac{\sin 90^\circ}{\Delta}$ formuladan topiladi. Bunda bazis masofa 1 a.b.=149.6 mln km. Yulduzlar uchun doim $\rho=0$, $0<\pi<1''$. Yulduzlarga bo'lgan masofa parsek birligida o'tchanadi.

Ta'rif. Yer orbitasi radiusi $1''$ burchak ostida ko'ringan masofa parsek (parallaks/sekund) deyiladi. $1 \text{ parsek} = 206265 \text{ a.b.} = 3,26 \text{ yorug'lik yili}$. Quyosh sistemasining diametri $3,83 \times 10^{-4} \text{ parsek}$ ga teng.

Yer harakati: abberatsiya. Ma'lumki, kuzatuvchi fazoda murakkab harakat qilib, bu harakat, asosan, Yerning sutkalik va orbital aylanishlari yig'indisidan iborat. Undan tashqari, biz yaqin sezmaydigan harakat turi ham mavjud: Quyosh sistemasi Galaktikamiz yadrosi atrofida aylanma harakat qiladi.

Teleskop okulyardagi iplar to'rtinchi markazi K nuqtada va obyektivning markazi O nuqtada joylashgan bo'lsin.

Kuzatuvchining Yer bilan birga orbital harakat yo'nalishi A tomonda, obyektivga bo'lgan masofani r vaqtida bosib o'tadi. Okulyardan joylashgan bo'lsin. Kuzatuvchi tezlik bilan harakat qilgani uchun yoritgich iplar setkasi boshida ko'rinmaydi va K ga tushmaydi. U $Kr' = v \cdot t$ ga siljib K nuqtaga tushadi. Yoritgichning tasviri K nuqtaga tushishi uchun teleskopni yoritgichning haqiqiy KM yo'nalishida emas, balki KOM' yo'nalishda o'rnatish lozim. Shundagina yorug'lik O K ning Ct masofani o'tganda Yer harakati tufayli tasvir $KOK = Kr' = v \cdot t$ masofaga siljiydi.

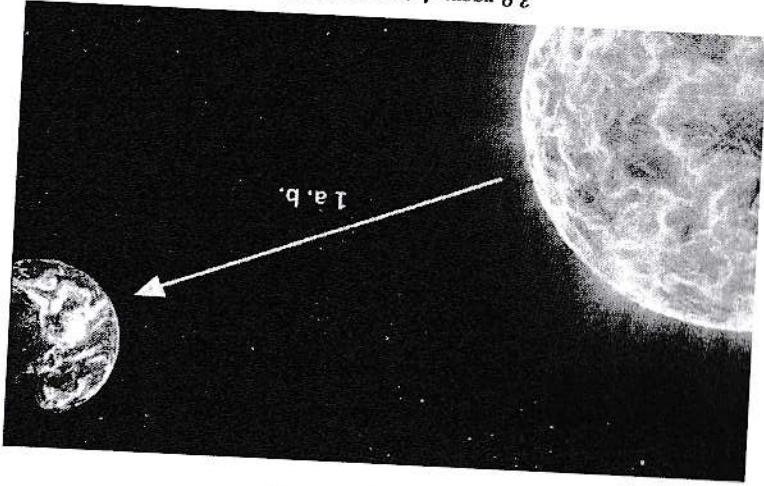


3.8-rasm. Oberatsiya.

Shunday qilib, yoritgichning ko'rinishi KOM' va haqiqiy yo'nalishi KM orasida abberatsiyaviy siljish burchagi α hosil bo'ladi.

ΔKOK dan $\sin \alpha = \frac{vt}{C} \sin \theta$ ni topamiz: $\frac{\sin \alpha}{\sin \theta} = \frac{C \cdot t}{C \cdot t} \cdot \alpha$ - ga abberatsiya deyiladi. α - kichik bo'lganidan $\sin \alpha = \alpha$ "sin $1''$ deb hisoblab, $\alpha = 206265 \frac{C}{v} \sin \theta$ topiladi. Agar $C = 299725 \text{ km/sek}$, $v = 29,78 \text{ km/sek}$, $\alpha = 20'',496 \times \sin \theta$; $\alpha = 20'',496$ miqdorga abberatsiya doimiyi deyiladi.

3.9-rasm. Astronomik birlik



Astronomik birlik (a.b.) - Quyoshdan Yergacha bo'lgan o'rta masofa $149,6$ million kilometr ga teng. Bu birlikdan, asosan, Quyosh sistemasidagi osmon jismlariga (planetalar, kometalari, Oy va boshqalar) bo'lgan masofalarni ifodalashda foydalaniladi (2.2-rasm).

3) Asriy esa, Quyosh sistemasini Galaktikamiz atrofida $\approx 250 \text{ km/sek}$ tezlik bilan aylanishi tufayli sodir bo'ladi. Astronomiyada uzunlikni Xalqaro sistemada qabul qilingan birlikda (metrlarda) ifodalash har doim ham qulay bo'lmaydi. Shuning uchun ham astronomiyada uzunlik, uning mavjud birliklaridan tashqari yana quyidagi maxsus birliklar bilan ham o'lchanadi:

- 1) Yerning o'z o'qi atrofida aylanishi tufayli sodir bo'lgan burchak siljishiga sutkalik abberatsiya deyiladi.
- 2) Yillik, kuzatuvchini Quyosh atrofida 30 km/sek tezlik bilan harakat tufayli sodir bo'lishiga aytiladi.
- 3) Asriy esa, Quyosh sistemasini Galaktikamiz atrofida $\approx 250 \text{ km/sek}$ tezlik bilan aylanishi tufayli sodir bo'ladi.

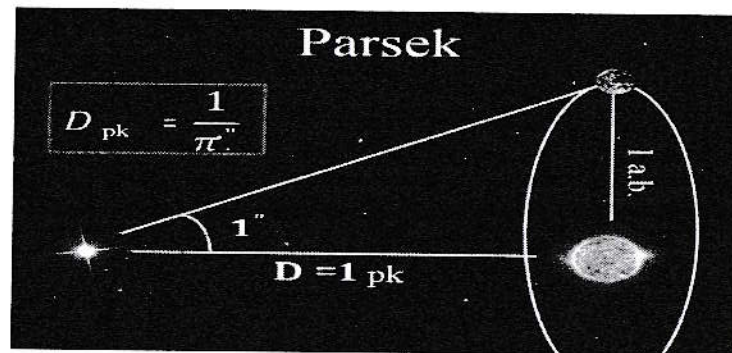
1. Sutkalik; 2. Yillik; 3. Asriy abberatsiya.

Yorug'lik abberatsiyasi hodisasi Yerning orbital harakatini isbotlaydi. Abberatsiya 3 xil bo'ladi:

Yulduz ekliptika qutbida bo'lganida $\theta = 90^\circ$ va $\sin \theta = 1$ va $\alpha = 20'',496$ ga teng bo'ladi.

Yorug'lik yili (y.y.) - yorug'likning bir yilda o'tgan yo'li bilan tavsiflanadi. Buning uchun 1 yilni sekunlarda ifodalab, so'ngra yorug'lik tezligigako'paytirishimiz lozim. Unda 1 yorug'lik yili (1 y.y.) $9,46 \cdot 10^{12}$ km ga tengligini aniqlaymiz. Topilgan natijani 149,6 mln km ga bo'lsak, 1 y.y. ning astronomik birliklardagi qiymatini topamiz. U 63240 a.b. ga teng chiqadi.

Parsek (pk) - «parallaks» va «sekund» so'zlaridan olingan bo'lib, yillik parallaksi 1" ga teng bo'lgan yoritgichgacha masofani ifodalaydi (23-rasm):
 $1 \text{ pk} = 3,26 \text{ y.y.} = 206265 \text{ a.b.} = 30,86 \cdot 10^{12} \text{ km.}$



3.10-rasm. Parsek.

3.3-§. Butun olam tortishish qonuni ikki jism masalasi. Kosmik tezliklar.

I. Nyuton Yer sirtiga tushayotgan jismlar tezlanishini Oyning o'z orbitasi bo'yicha xarakatlanish tezlanishini taqqoslab (tezlanish masofani kvadratiga teskari proporsional bo'lib chiqqan), 1687 yili butun olam tortishish qonunini ochdi: $F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$. Ushbu qonunni ochishda u Kepler, Galiley, Gyuygenslar ilmiy natijalariga asoslangan edi. Berilgan m_1 massaga ega bo'lgan jismdan r masofada yotgan m_2 massali jism tezlanishi $a_2 = F/m_2 = G m_1/r^2$ teng ekan. Ya'ni, tezlanishga jismning kimyoviy tarkibi va o'z massasi bunda hech qanday ahamiyatga ega emasligi ma'lum bo'ldi. Demak, ikkita moddiy nuqta o'zaro bir xil kuch bilan tortishishadi, lekin ular o'z massalariga teskari proporsional bo'lgan turlicha tezlanishlarga ega bo'lishadi: $a_1/a_2 = m_2/m_1$.

Agar ikkita moddiy nuqtaning o'zaro nisbiy tezlanishi $a_n = a_1 - a_2$ bo'lsa, bu holda tezlanish massalar yig'indisiga proporsional bo'ladi:
 $a_n = G(m_1 + m_2)/r^2$.

Alohida yana shuni takrorlashimiz joizki, Nyutonning tortishish qonuni moddiy nuqtalar uchun o'rinli. Aslida Koinot jismlari - Quyosh, Oy, sayyoralar va yulduzlar - moddiy nuqta bo'lmay, ular ma'lum hajmga egadirlar. Lekin ikkita o'zaro tortishuvchi jism shar shakliga ega bo'lib, ichki zichliklari bir tekisda (bir jinsli yoki sferik simmetriyada) bo'lsa, ular moddiy nuqta kabi tortishishadilar. Nyutonning tortishish qonuni yordamida Kepler qonunlarining aniq matematik ifodasi kelib chiqishi, nazariy hisob kitoblar usuli orqali Uran sayyorasining harakatidagi chekinishlarning 1843-1845 yillarda ingliz astronomi J.Adams va fransiyalik olim U.Lever'ye tomonlaridan olib borilgan taxlili asosida sakkizinchi sayyora Neptunni "qalam uchida" ochilishi osmon mexanikasi fanini vujudga keltiradi.

Biror jismning boshqa jism tortishish maydonida harakatini o'rganish uchun avvalambor ushbu tortishish maydon holati bizga to'la ma'lum bo'lishi lozim. Tortishishning o'zi materiyaning xususiyati hisoblanib, uning ta'siri faqat cheksizdagina aniq nolga teng. Tortishish maydonini biror to'siq qo'yib umuman chegaralab qo'yishni ilojisi yo'q. Qolaversa bu maydon yoki statsionar holatda bo'lishi (bunda uning har bir nuqtadagi qiymati vaqt davomida o'zgarmas bo'ladi) yoki, aks holda nostatsionar hisoblanib, har bir nuqtasidagi tortishish kuchi vaqt bo'yicha o'zgarib turishi mumkin.

Nyutonning butun olam tortishish qonunining asosiy xususiyatlari zaryadlangan zarrachalar uchun o'rinli bo'lgan Kulon qonuniyati bilan o'xshash, lekin bir xil zaryadli zarrachalar nuqtaiy nazaridan tortishish kuchlarining ishoralari qarama-qarshi.

Gravitatsiya jismlarining o'zaro tortishishida katta masshtablarda muhim bo'ladi. Mikroskopik jarayonlarda esa (masalan, atomlar uchun) o'zaro gravitatsion ta'sirlanishi saqlanadi, ammo unga nisbatan elektromagnit ta'siri ancha kuchliroq bo'ladi. Bunda proton va elektron orasidagi o'zaro elektromagnit ta'siri oldida gravitatsion o'zaro ta'sir hisobga olinmaydi. Atom yadrosida esa nisbatan yanada kuchliroq o'zaro ta'sir kuchlari orinli bo'lib, bunda gravitatsiya haddan tashqari kichiklashib ketadi. Lekin astronomiya fanida tabiatda mavjud bo'lgan barcha o'zaro ta'sir turlari bilan bevosita ish olib boriladi.

Ushbu masala ikki moddiy nuqtaning harakatini Nyutonning o'zaro tortishish qonuni asosida o'rganadi.

Ta'rif. O'zaro dinamik bog'liq bo'lgan ikki jismning boshqa jismlar ta'siri umuman yo'q deb faraz qilingan holdagi harakat qonunlarini o'rganuvchi masalaga ikki jism masalasi deyiladi.

Nyuton mexanikasi klassik mexanika deb yuritilib, u tabiatdagi o'ta zich obyektlar maydoni uchun qo'llanilmaydi, chunki bu obyektlar kuchli gravitatsion maydonga egadirlar va ular ta'siridagi harakat katta tezliklarda sodir bo'ladi. Kuchli gravitatsion maydondagi harakat Eynshteyn mexanikasi yoki umumiy nisbiylik nazariyasi doirasida o'rganilishi lozim.

Ikki jism masalasi fundamental ahamiyatga ega bo'lib, u juda ko'p hollarda birinchi yaqinlashuv sifatida qo'llaniladi. Ba'zida (qo'shaloq yulduzlar, Quyosh atrofida sayyora harakatlarida) ushbu yaqinlashuv o'rganilayotgan masala uchun yetarli hisoblanadi. Ikki jism harakati masalasining absolyut va nisbiy turlari mavjud. Biror inersial koordinatalar sistemasida m_1 va m_2 massalarga ega bo'lgan jismlargacha masofa mos ravishda r_1 va r_2 bo'lsa, ushbu koordinatalar sistemasining boshlanishiga nisbatan qaraladigan harakat tenglamalarini

$$m_i \ddot{\vec{r}}_i = Gm_1 m_2 \frac{\vec{r}(-1)^{i+1}}{r^3}, \quad \vec{r} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1, \quad i=1; 2$$

o'rganish - ikki jismning absolyut masalaga olib keladi. Agar $m_1 > m_2$ bo'lsa, 2- jismning 1- jism atrofida harakati nisbiy deyilib, $\ddot{\vec{r}} = -G(m_1 + m_2) \frac{\vec{r}}{r^3}$ tenglama yechiladi. Ushbu masalalar nafaqat ixtiyoriy boshlang'ich shartda aniq yechimga ega, balki umumiy yechimlari ham mavjud.

Agar m_1 va m_2 qiymatlari o'zaro keskin ravishda farq qilmasa bunda qarayotgan masala ikki jismning umumiy masalasi deyiladi. Bu massalardan birortasi ikkinchiga nisbatan shu darajada nisbatan kichik qiymatga ega bo'lib, uning qiymatini hisobga olmasa ham bo'ladigan bo'lsa, biz ikki jismning chegaralangan masalasi bilan ish ko'rgan bo'lamiz.

Bir jismning ikkinchisi atrofida nisbiy harakati o'rganilayotganda ma'lum bir vaqt uchun uning fazodagi orbita tasniflarini to'la bilish muhim ahamiyatga ega. Unda ixtiyoriy vaqtda harakatlanuvchi jismning orbitasidagi o'rnini va tezligini bilsak, boshqa zarur masalalarni hal etishimiz mumkin. Biz sayyoraning Quyosh atrofida harakatini qaraymizmi yoki biror boshqa holnimi (masalan, Yer - uning sun'iy yo'ldoshi, sayyora - uning tabii yo'ldoshi), orbita doimo 6ta element yordamida to'la ifodalaniladi.

Misol tariqasida sayyoralar orbitasi elementlarni ko'rsataylik. Ular quyidagilardir:

1) a - orbitaning katta yarim o'qi.

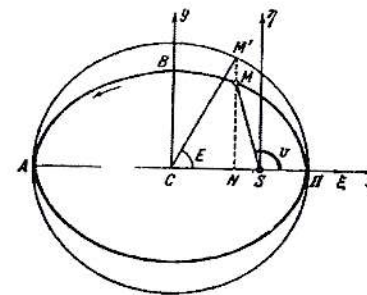
2) e - orbita ekscentrisiteti ($e = \sqrt{a^2 - b^2}/a$).

3) i - orbitaning ekliptika tekisligiga qiyaligi.

4) ω - perigeliy nuqtasining chiqish tugunidan uzoqligi.

5) Ω - chiqish tugunining bahorgi tengkunlik nuqtasiga nisbatan uzunlamasi.

6) t_0 - sayyoraning perigeliy nuqtasidan o'tish vaqti.



3.11-rasm. Sayyoralar elliptik orbitasi.

Sayyora uchun aynan t_0 elementi qiymati ma'lum bo'lsa, uning orbitadagi ixtiyoriy vaqt uchun o'rnini aniq topiladi. Sayyoraning elliptik orbitadagi o'rnini

M , orbita fokusi S nuqtada Quyosh joylashgan bo'lsin. Sayyoraning katta o'qi AP bo'lib, A - afeliy, P - perigeliy nuqtalaridir. Ellips markazini C deb olaylik. U holda

$SM = r = a(1 - e \cos E)$ o'qi qutb koordinatalar sistemasidagi masofani bildiradi. E eksentrik anomaliya deyiladi. Uni aniq ko'rsatish uchun M nuqtadan AP ga tik chiziqli tushurib, uni

yana yuqoriga ham davom ettirib, C nuqta atrofida chizilgan a radiusli aylana bilan kesishgan M' nuqtani topamiz. Unda $M'CP$ burchagi E ni bildiradi $M'CP = E$. Qutb burchagi $MS\Pi = \nu$ haqiqiy anomaliya. Ikki jism masalasidan xususan quyidagi formulalar o'rinli: $M = E - e \sin E$ - o'rtacha anomaliya deyiladi,

$$M = \frac{2\pi}{T}(t - t_0), \quad \tan \frac{\nu}{2} = \left(\frac{1+e}{1-e} \right)^{1/2} \tan \frac{E}{2}.$$

bunda T - sayyoraning orbita bo'ylab siderik aylanish davri bo'lib, $\frac{2\pi}{T} = n$

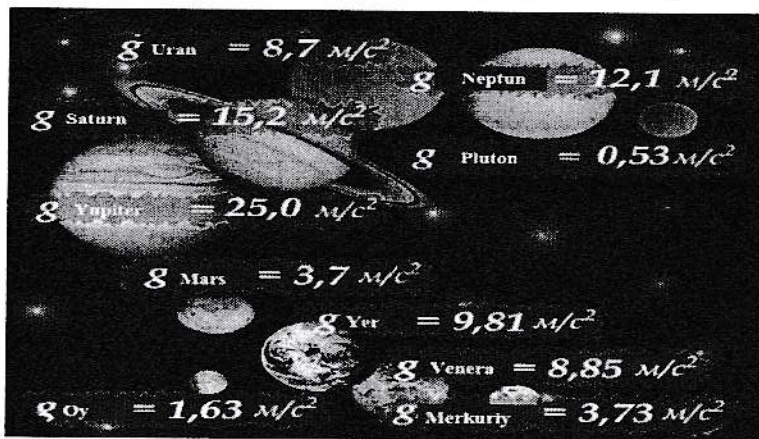
uning o'rtacha sutkalik harakati deyiladi.

Yerning massasi va zichligi. Nyutonning butun olam tortishish qonuni barcha osmon jismlari uchun muhim xarakteristik kattalik - massalarini hisoblashga imkon beradi (25-rasm). Xususan, bu qonun asosida Yerning massasini hisoblaydigan bo'lsak, unda Yerning erkin tushish tezlanishi va massasi orasidagi quyidagi bog'lanishdan foydalanib, shuni yoza olamiz (1): $g = GMR^2$ (1)

bu yerda: M-Yerning massasi R-Yerning radiusini; G - gravitatsion doimiy;

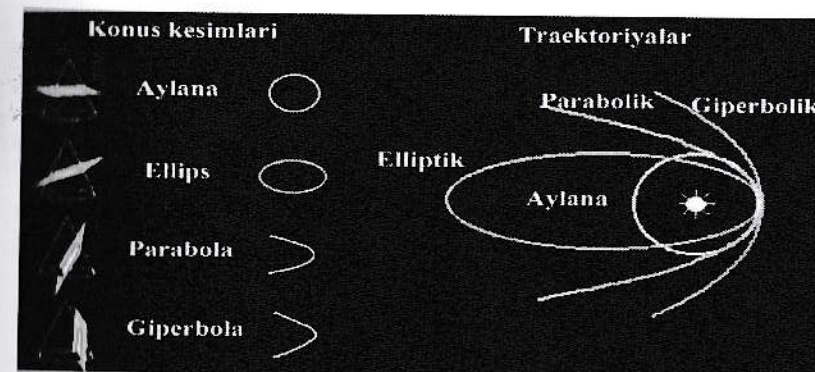
Yer uchun:

$g = 9,8 \text{ m/s}^2$, $R = 6370 \text{ km}$, $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$, $M = 6 \cdot 10^{24} \text{ kg}$

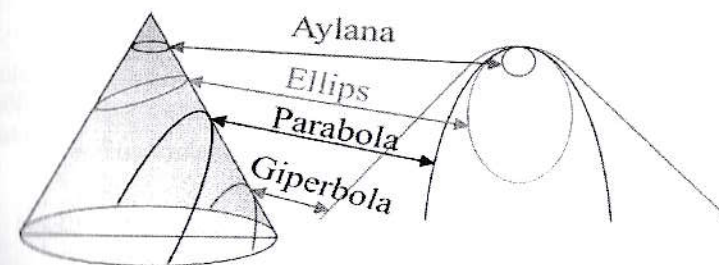


3.12-rasm. Planetalardagi erkin tushish tezlanishi.

Aniq sharoitlarda biror jism boshqa jismning tortishish maydonida Kepler ta'kidlaganidek, faqat ellips bo'ylabgina emas, balki aylana, parabola va giperbola kabi konus kesimlarini beruvchi egri chiziqlar bo'yicha ham harakatlanishini isbotladi (2.13 a va b-rasm).



3.13.a-rasm. Konus kesmlari va trayektoriyalar.



3.13.b-rasm. Konus kesmlari va trayektoriyalar.

Birinchi kosmik tezlik. Jismlarni Yer radiusiga teng masofadagi aylanma orbitaga chiqarish uchun kerak bo'ladigan boshlang'ich tezlik birinchi kosmik tezlik deyiladi (3.14-rasm). U quyidagicha topiladi:

$$v_{01} = \sqrt{GM_{\oplus}/R_{\oplus}}$$

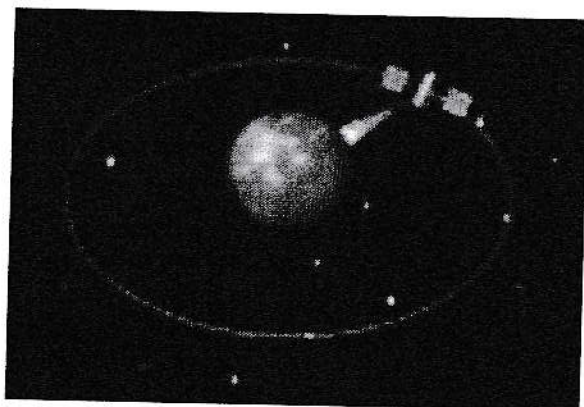
Bu yerda

G - gravitatsion doimiy ($6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$)

$R_{\oplus}$ - Yerning o'rtacha radiusi (6370 km)

$M_{\oplus}$ - Yerning massasi ($5,9 \cdot 10^{24} \text{ kg}$)

$$v_{01} = \sqrt{GM_{\oplus}/R_{\oplus}} = 7,9 \text{ km/sek}$$

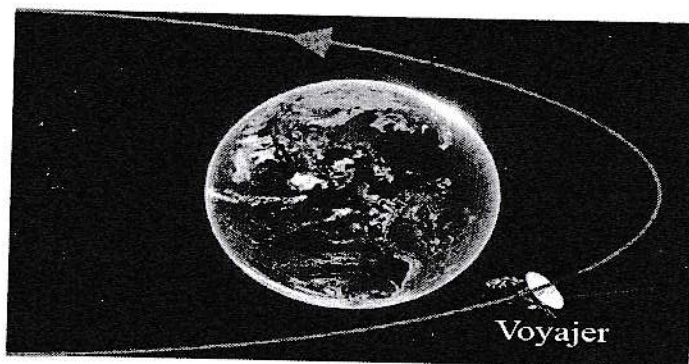


3.14-rasm. Birinchi kosmik tezlikka erishgan jism trayektoriyasi.

Ikkinchi kosmik tezlik. Jism biror osmon jismining gravitatsion tortishishini kuchini yengish uchun kerak bo'ladigan eng kichik tezlikka ikkinchi kosmik tezlik deyiladi. Ikkinchi kosmik tezlik osmon jismining radiusi va massasi bilan aniqlanadi. Masalan Yer uchun:

$$v_{02} = \sqrt{2GM_{\oplus}/R_{\oplus}} = 11,2 \text{ km/s}$$

Bunda jism trayektoriyasi paraboladan iborat bo'ladi.

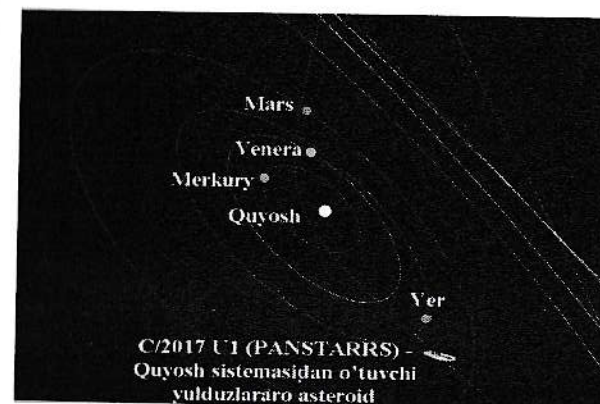


3.15-rasm. Ikkinchi kosmik tezlikka erishgan jism trayektoriyasi.

Uchinchi kosmik tezlik. Jismning Quyosh sistemasini tark etib, yulduzlararo fazoga chiqishi uchun kerak bo'ladigan minimal tezlikka uchinchik kosmik tezlik deyiladi (29-rasm).

U quyidagicha topiladi.

$$v_{03} = \sqrt{(\sqrt{2}-1)^2 v_{pl}^2 + v_{02}^2} \quad (7)$$



3.16-rasm. Uchinchi kosmik tezlikka erishgan jism trayektoriyasi.

v_{pl} - planetaning orbital tezligi;

v_{02} - planeta uchun 2-kosmik tezlik.

Masalan Yer uchun:

$$v_{03} = \sqrt{(\sqrt{2}-1)^2 v_{pl}^2 + v_{02}^2} = \sqrt{(\sqrt{2}-1)^2 (29,783 \text{ km/s})^2 + (11,2 \text{ km/s})^2} = 16,650 \text{ km/s}$$

3.4-§. Oy harakati va fazalari.

Oy bir sutkada taxminan 13° yo'l bosib, g'arbdan sharqqa tomon siljiydi. U o'z harakati davomida bir yulduz turkumidan ikkinchi bir yulduz turkumiga o'tib boradi va shu tarzda u $27\frac{1}{3}$ sutka davomida Yer atrofini bir marta aylanib chiqish davomida 12 ta zodiak yulduz turkumida bo'lib chiqadi.

Oyning yulduzlar osmonidagi bu ko'rinma harakati uning Yer atrofidagi haqiqiy harakati natijasida yuzaga keladi.

Oy Yer atrofidagi harakati davomida Yerga va Quyoshga nisbatan turli vaziyatlarni egallaydi hamda buning natijasida Oyning Quyosh nurlari tushib yoritib turgan tomonini Yerdan turli qismlari ko'rinib, ko'rinma shakli o'zgarib turadi. Natijada Oyning turli shakllari, ya'ni to'la doira, o'roq shakli, yarim doira va hokazo ko'rinishlari yuzaga keladi va bunga Oy fazalari

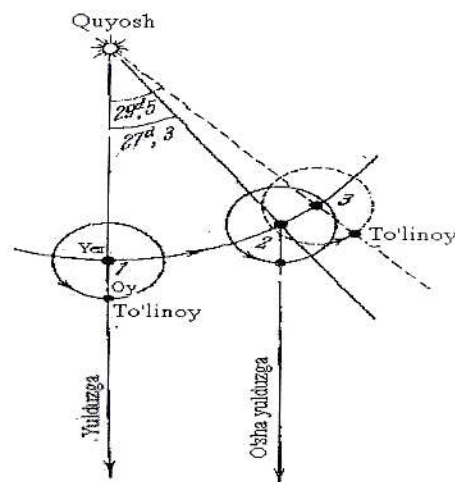
deyiladi. Sekin-asta bir-biriga Yangioy, birinchi chorak, to'linoy va oxirgi chorak tartibida o'tib boruvchi asosiy 4 ta fazasini ajratish mumkin.

Yangioy paytida Oy Quyosh bilan Yer orasidan o'tayotganida bizga uning qora tomoni o'girilgan bo'ladi. Bu vaqtda Oy mutlaqo ko'rinmaydi. Ikki-uch kundan so'ng, ya'ni Oy Quyoshdan $25-30^\circ$ sharqqa siljigandan keyin bizga yoritilgan yarim sharining kichkina qismi ko'rinadi. Bu vaqtda Oy, qavariq tomoni o'ngga (Quyoshga) qaragan ingichka o'roq shaklida ko'rinadi. Oy diskining yorug' qismini qora qismidan ajratadigan chiziq terminator deb ataladi va u hamma vaqt ellipsning yarmiga o'xshaydi.

Yangioy paytlaridan bir hafta o'tgach, bizga uning yorug' yarim shari yarmi bilan qora yarim sharining yarmi o'girilgan bo'ladi. Bunda biz Oy diskining yorug' o'ng yarmini ko'ramiz. Bu faza birinchi chorak deyiladi. So'ngra Yerdan yorug' yarim sharining ko'proq qismi ko'rinish boshlaydi, yana bir haftadan keyin, ya'ni to'linoy paytida esa biz yoritilgan Oy diskining hammasini ko'ramiz. To'linoy paytidan so'ng Oyning yoritilgan qismi kamaya boshlaydi, kundan-kunga bizga yoritilgan Oy yarim sharining kamroq qismi ko'rinadi, diskning o'ng tomonida borgan sari katta "kemtik" paydo bo'la boshlaydi.

To'linoydan bir hafta o'tgach, oxirgi chorak bo'ladi, biz Oy diskining chap yarim sharini yoritilgan holda ko'ramiz. Nihoyat, Oy qavariq tomoni chapga qaragan o'roq shaklini oladi va tez orada butunlay yo'qoladi, yana yangioy payti bo'ladi.

Oyning ketma-ket kelgan bir ismli fazalari orasida o'tgan vaqt o'rta hisobda 29.53 o'rtacha Quyosh sutkasiga teng. Bu davr Oyning sinodik aylanish davri deyiladi. Lekin, Oy Yer atrofini yulduzlarga nisbatan taxminan 27.32 sutkaga teng siderik davr ichida to'la bir marta aylanib chiqadi. Umuman, Oyning sinodik va siderik aylanish davrlari orasidagi munosabat sinodik davr tenglamasi $1/P - 1/T_{\odot} = 1/S$ dan aniqlanadi. Bu yerda P - siderik Oy, T - Yerning Quyosh atrofida aylanish davri, S - sinodik Oy.



3.17-rasm. Oyning harakati.

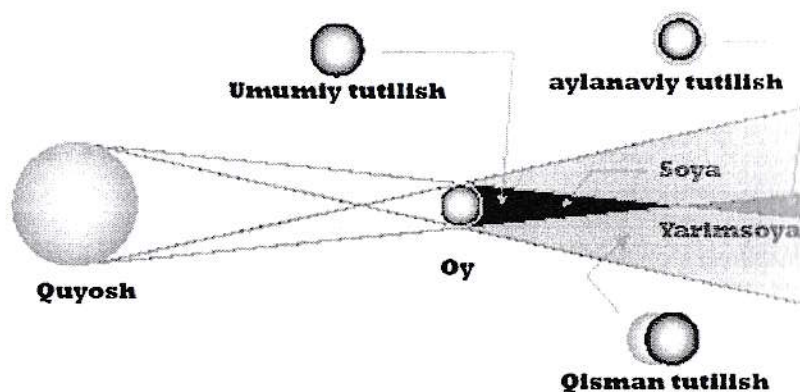
Oy ekvatori orbitasi tekisligi $6^\circ 39'$, ekliptika bilan esa $1^\circ 30'$ burchak tashkil etadi. Bundan shu narsa ko'rinadiki, Oy orbitasi tekisligi ekliptika tekisligiga $5^\circ 09'$ burchakka og'ishgan ekan. Oy yo'lining ekliptika bilan kesishgan nuqtalari Oy tugunlari deyiladi va bu nuqtalarni tutashtiruvchi chiziqqa tugunlar chizig'i deyiladi. Oyga Quyosh va Yerning ta'siri tufayli tugunlar chizig'i har yilda taxminan 20° ga burilib, 18 yil 7 oyda to'la aylana chizib chiqadi. Oyning harakati juda murakkab bo'lib, u Yer atrofida har safar yangi yo'ldan yurib aylanadi va har 18 yil 7 oyda bir marta Oy orbitasi taxminan o'zining avvalgi vaziyatiga qaytadi.

Oy o'zining Yer atrofidagi harakati davrida uzoq yoritgichlar oldidan o'tib, ularni to'sadi. Ko'pincha yulduzlar to'siladi, Oy bilan yulduzlarning to'silishi eng oddiy hodisalardan hisoblanadi.

Yulduz qanchalik ravshan bo'lmasin, u Oy bilan to'silganda Oy chetida to'satdan yo'qoladi (to'silishning boshlanishi), shuningdek, Oy orqasidan to'la ravshanlikda to'satdan paydo bo'ladi (to'silishning oxiri). Bu, birinchidan, yulduzning burchak diametri juda kichik ekanligini, ikkinchidan, Oyda atmosfera yo'qligini ko'rsatadi. To'silishning boshlanish va tamom bo'lish paytlarini aniq belgilash Oy harakatini o'rganishda, shuningdek, Yer sirtidagi nuqtalarning geografik uzunliklarini aniqlashda juda katta ahamiyatga egadir.

Sayyoralarining to'silishi kam uchraydi. Sezilarli diskka ega bo'lgan sayyora, Oy orqasida sekin-asta to'silib boradi.

Quyoshning Oy bilan to'silishi Quyosh tutilishlari deb ataladi. Quyosh tutilishlari yangioy paytidagina bo'ladi. Agar Oy orbitasining tekisligi ekliptika tekisligi bilan ustma-ust tushganda, har yangioy paytida Quyosh tutilishi bo'lar edi. Ammo, Oy orbitasi ekliptikaga og'ma bo'lganidan Oy yangioy paytida ko'pincha Quyoshdan shimolroqdan yoki janubroqdan o'tadi va tutilish bo'lmaydi. Yangioy ekliptika yaqinida, ya'ni Oy orbitasi tugunlardan birortasining yaqinida bo'lgandagina tutilish ro'y beradi.



3.18-rasm. Quyosh tutilishi.

Quyoshning tutilishi Yer sirtining turli nuqtalari uchun turli ko'rinishda bo'ladi. Quyosh faqat Yer uzoqligida maksimal diametri 270 km ga teng bo'lgan Oy soyasining konusi ichidagi kuzatuvchiga Oy bilan butunlay to'siladi. Yer sirtining Oy soyasi tushayotgan tor sohasidagina to'la tutilish sodir bo'ladi.

Oyning yarim soyasi deb ataluvchi konus ichidagi ma'lum bir sohalarda qisman tutilish kuzatiladi, shimoldagi kuzatuvchi uchun Quyosh diskining janub (pastki) qismi, janubdagi kuzatuvchi uchun esa shimol qismi Oy bilan to'silgan bo'ladi. Kuzatuvchi soya markaziga qanchalik yaqin bo'lsa, uning uchun Quyoshning to'silgan qismi, ya'ni tutilishning fazasi shuncha katta bo'ladi. Nihoyat, yarim soya konusidan tashqarida Quyosh diski butunlay ko'rinib turadi va hech qanday tutilish kuzatilmaydi.

Yerdan Oygacha bo'lgan masofa ancha katta chegarada o'zgarib turadi, shuning uchun Oy soyasi konusining uchi ba'zan Yer sirtiga yetmaydi. Bunday holda Oy soyasi konusining o'qiga yaqin joydagi kuzatuvchiga Quyosh diskining chetlari to'silmay qoladi. Quyosh diskining chetlari Oyning qora diski atrofida ravshan halqa shaklida ko'rinadi. Bunday tutilish halqasimon tutilish deyiladi. Yer sirtidagi Oyning yarim soyasi bilan to'silgan sohalarda oddiy qisman tutilish ko'rinadi.

Yerning turli nuqtalaridagi tutilishlar turlicha ko'rinishdagina bo'lmay, balki turli vaqtda boshlanadi. Haqiqatan, Oyning Yer atrofidagi harakati va Yerning o'z o'qi atrofida aylanishi natijasida, Oyning soyasi Yer sirtida taxminan g'arbdan sharqqa tomon siljiydi. Shunday qilib, har bir to'la (yoki halqasimon) tutilishning uzunligi bir necha ming kilometr va kengligi o'rta hisobda 200 km ga yaqin bo'lgan polosa ichida kuzatish mumkin. Yer sirtining

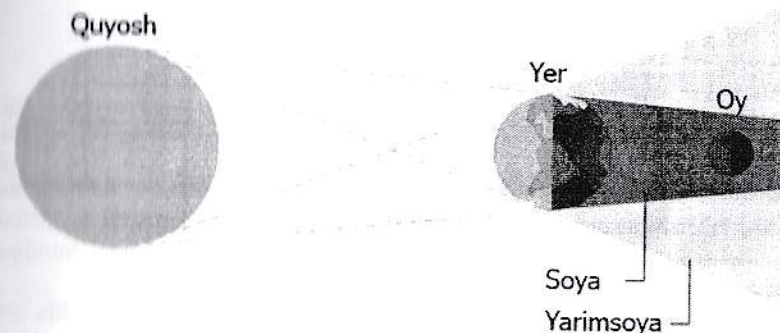
boshqa qismlarida xuddi shu tutilish qisman tutilish shaklida ko'rinadi yoki hech ko'rinmaydi.

Quyosh tutilishlari ikki soatdan ortiq davom qilishi mumkin, ammo to'la tutilish bir joyda bir necha minutgina davom etadi, ko'pincha 2-3 minut, lekin 8 minutdan ortiq emas. Quyosh to'la tutilgan vaqtda Quyosh atmosferasining tashqi qatlamlarida sodir bo'ladigan ko'p hodisalarni kuzatish mumkin.

Oy tutilishlari. Yer ham har qanday qora jism singari Quyosh nurlari bilan yoritilganligidan, Quyoshdan qarama-qarshi tomonga soya tashlaydi. Quyoshning diametri Yer diametridan ancha katta bo'lganligidan, Yerning soyasi ham Oyning singari sekin-asta ingichkalashib boradigan konus shaklida bo'ladi. Yerning diametri Oyning diametridan qancha katta bo'lsa, bu konus Oy soyasining konusidan shuncha uzun va Oy uzoqligida bu konusning diametri Oy diametridan deyarli uch marta katta bo'ladi. Yerning soyasiga Oy to'g'ri kelib qolsa, unda Oyga Quyosh nuri tushmaydi va Oy tutilishi boshlanadi.

Oyning tutilishi to'liq paytlaridagina, ya'ni Oy Quyoshga qarshi turganda ro'y beradi. Ko'pincha, Oy Yer soyasining tashqarisidan o'tadi va Oy faqat to'liq paytida o'z orbitasi tugunlaridan biriga anchagina yaqin kelganida tutilish boshlanadi.

Oy g'arbdan sharqqa harakat qilganida, Yer soyasiga Oyning sharqiy (chap) cheti avval kiradi. Oyda sekin-asta kattalashib borayotgan kentik paydo bo'ladi, Oy o'roq shakliga kira boshlaydi, bu shakl odatdagi Oy fazalaridan farq qiladi. Tutilish vaqtida Oyning yorug' qismini qorong'i qismidan ajratib turadigan chiziq (terminator) Oy diski radiusidan ikki marta katta radiusli aylananing yoyi shaklida bo'ladi, bu chiziq Yer soyasining chetidir. Holbuki, Oy fazalari vaqtidagi yorug'lik chegarasi, birinchi va oxirgi choraklarda to'g'ri chiziqqa aylanadigan, yarim ellipsdir.



3.19-rasm. Oy tutilishi.

Agar Oy Yerning soyasiga butunlay kirs, u holda to'la tutilish bo'ladi, agar Oy soyaning chetidan o'tsa, tutitish qisman bo'ladi. Yer soyasining diametri Oynning diski diametridan deyarli 2.5 marta katta bo'lganidan Oynning to'la tutilishi Quyoshning tutilishiga qaraganda ancha uzoq, taxminan ikki soatcha davom qilishi mumkin.

To'la tutilish vaqtida Oy hech qachon butunlay yo'qolib ketmaydi, u faqat odatdagiga nisbatan ancha kuchsiz nur sochadi va odatda qizg'ish-mis tusda bo'ladi. Bunday yoritilish Quyosh nurlarining Yer atmosferasida sinishidan kelib chiqadi. Natijada qizil nurlar soya konusi ichiga egiladi va Oyga tushadi. Oy tutilish paytida Oydagi kuzatuvchiga Quyosh Yer bilan to'silgan bo'lib ko'rinar edi. Kuzatuvchi Yerning katta qora diski atrofida, Quyoshning qizil nurlari sinishi natijasida Yer atmosferasining qizil rangdagi ravshan halqasini ko'rgan bo'lar edi.

Saros. Har bir tutilish 18 yil 11 kun yoki yil 10 kunda (agar bu vaqt ichida 5 ta kabisa yili bo'lsa) takrorlanib turganidan tutilishlarini oldindan aytish yengillashadi. Bunday bo'lishiga sabab, shuncha vaqt o'tganidan so'ng Quyosh, Oy va Oy orbitasining tugunlari bir-birlariga nisbatan taxminan dastlabki vaziyatlarga qaytib keladi. Oy tugunlarining harakati Oy harakatiga qarama-qarshi yo'nalgan bo'lganidan tugunga Oy yulduzlari nisbatan bir marta to'la aylanib chiqishidan oldin, ya'ni 27.32 sutkada (yulduz oyi) emas, balki 27.21 sutka (drakonik oy) da qaytib keladi. Shu sababli Quyosh ham tugunga bir yil qisqaroq vaqt ichida, ya'ni 346.62 sutka (drakonik yil) da qaytib keladi. 242 drakonik oy, 19 drakonik yilga teng bo'lar ekan. Demak, agar ma'lum bir paytda yangioy, ya'ni Oy bilan Quyoshning bir to'g'ri chiziqda bo'lishi tugunga to'g'ri kelib qolsa, 18 yil 11 kundan so'ng bu hodisa yana tugun yaqinida sodir bo'ladi. Bu vaqt ichida 223 sinodik Oy o'tgan bo'ladi. Ya'ni:

I. 223 sinodik oy = 6585.32 sutka = 18 yil 11 kun 7 soat 42 minut;

II. 242 drakonik oy = 6585.36 sutka;

III. 19 Quyosh drakonik yili = 6585.78 sutka.

Agar dastlabki yangioy va tutilish aniq tugunda bo'lsa, keyinigi yangioy payti tugunda emas, balki undan taxminan $1/2$ gradus g'arbda, ya'ni Quyosh tugunga kelmasdan oldinroq bo'ladi, chunki birinchi davr uchinchi davrdan deyarli $1/2$ sutka qisqa. Shuning uchun keyingi tutilish o'zining kattaligi bilan oldingi tutilishdan oz farq qiladi. Bundan tashqari, keyingi tutilish dastlabki tutilishdan o'rta hisobda 7 soat-u 42 minut kechroq boshlanadi va, binobarin, 120° g'arb tomonda ko'rinadi.

18 yil 11 kunlik davr qadimgi vavilonlilarga ham ma'lum bo'lib, saros deb atalar edi. Har bir saros ichida 70 ta tutilish bo'lib, shundan 41 tasi Quyosh va 29 tasi Oy tutilishidir. Shunday qilib, umuman Yerda Quyosh tutilishlari Oy tutilishlariga qaraganda ko'proq bo'lsa-da, biroq Yer sirtining

ma'lum nuqtasida Oy tutilishlari ko'proq bo'lishi mumkin. Bunga sabab har bir Oy tutilishi Yer yarim sharining hamma joyida ko'rinadi. Quyosh tutilishlari esa deyarli tor bir polosadagina ko'rinadi. Ayniqsa Quyoshning to'la tutilishi ahyon-ahyonda ko'rinadi; har bir 18 yillik davr ichida 10 tagacha to'la tutilish bo'lsa-da, u ma'lum bir nuqtada o'rta hisobda 200-300 yilda bir marta ko'rinadi.

4.1-§. Astrofizik metodlar.

Astrofizika - osmon jismlari va ular tizimlarining fizik tabiatlarini, evolyutsiyalarini jumladan, Koinotni ham bir obyekt sifatida qarab o'rganishni maqsad qiladi. Oxirgi o'n yilliklar mobaynida ilmiy-texnikaviy taraqqiyot astrofizik tadqiqot ishlarini takomillashtirib, uni talay aniq kuzatish instrumentlari, zamonaviy kompyuter texnologiyalari bilan qurollantirdi. Shuning hisobiga, astrofizika astronomiya -ning yetakchi bo'limiga aylandi. Olinlab yangi-quvvatli, fizik parametrlari (zichligi, temperaturasi, yuqori quvvatligi va boshqalari) bilan bir-biridan keskin farqlanuvchi osmon obyektlari kashf etildi. Ayniqsa kosmonavtikaning rivojlanishiga ishga tushgan Yer atmosferasi -dan tashqi astronomiya, osmon obyektlarini ko'zga ko'rinmaydigan nurlarda (ultrabinafsha, rentgen, gamma, infraqizil va radionurlarda) o'rganish borasida inqilobiy bir davrga kirdi. Bularning barchasi, amaliy astrofizika deb ataluvchi kuzatishlar bilan bog'liq astrofizika bo'limining shakllanishida buyuk omil bo'ldi. Astronomiya bu yangiliklar hisobiga optik astronomiyadan keng to'liqlan astronomiyaga aylandi. Amaliy astrofizika rivojlanishi bilan bir qatorda so'nggi yillarda, fizikaning nurlanish nazariyasi, atom va yadro fizikasi bo'yicha erishgankatta yutuqlari nazariy astrofizikaning rivojlanishiga olib keldi. Bu bo'lim kuzatishlar -dan olingan natijalarni tahlil qilish, yangi tadqiqot yo'nalishlarini belgilash va amaliy astrofizikada qo'llaniladigan metodlarni asoslash kabimuhim vazifalarni o'z oldiga qo'yib, ularni hal qilishga kirishdi.

Astrofizikaning bu ikki asosiy bo'limi, o'z navbatida quyidagi kichik bo'limlarni o'z ichiga oladi.

1. Amaliy astrofizika: astrofotometriya, astrospektrofotometriya, kalorimetriya va hokazo.

2. Nazariy astrofizika: yulduzlar fizikasi, Quyosh fizikasi, sayyoralar va mayda osmon jismlari, tumanliklar, kosmologiya bilan bog'liq muammolar va hokazo.

Ma'lum bir kuzatish metodiga asoslangan astrofizika bo'limlari, masalan, radioastronomiya, atmosferadan tashqi astronomiya, rentgen astronomiyasi, gamma-astronomiya va neytrino astronomiyasi kabi nomlar bilan yuritiladi.

Astrofizikada qo'llaniladigan elektromagnit to'liqlin nurlanishlari.

Elektromagnit nurlanishning chastotasi juda keng bo'lib, yorug'lik nurlanishi uning kichik bir qisminigina tashkil etadi. Barcha diapazonda elektromagnit nurlanishlarining majmui elektromagnit nurlanish spektrini beradi. Ma'lumki, nurlanish aniq kattalikdagi energiya bilan xarakterlanuvchi kvantlar ko'rinishida tarqaladi. Kvantlar energiyasi nurlanishning chastotasi

bilan bog'liq bo'lib, ularning energetik birligi sifatida *elektron volt* olinadi. Bu potensiallar farqi 1 volt bo'lgan elektr maydonida tezlatilgan erkin elektronning olgan energiyasiga teng bo'lib, $1,6 \cdot 10^{-19}$ J ni tashkil etadi. Ko'zga ko'rinadigan yorug'lik nurlari elektromagnit nurlanishlar spektrida $3900 \text{ \AA}$ dan $7600 \text{ \AA}$ gacha bo'lgan sohanigina o'z ichiga olib, kvantlari energiya si 1 eV dan katta bo'ladi. Astrofizikada qo'llaniladigan elektromagnit to'liqlin uzunliklarining shkalasi esa energiyasi 10^{-6} eV (metrli radioto'liqlinlar) dan to bir necha Mev (millionlab elektron volt) gacha, ya'ni to'liqlin uzunligi $0,1 \text{ \AA}$ dan kichik nurlanishlargacha davom etadi. Hamma chastotali elektromagnit to'liqlinlar vakuumda bir xil - yorug'lik tezligiga teng tezlik bilan tarqaladi. Ishqoriy chastotadagi kvantning energiyasi uning chastotasiga proporsional bo'lib, $\epsilon = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$ ifodadan topiladi, bu o'rinda proporsionallik konstantasi $h = 6,625 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ - Plank doimiysi deyiladi.

Energiyasi 1 eV ga to'g'ri keladigan kvant, spektrning *infraqizil diapazonida* yotib, to'liqlin uzunligi $\lambda_0 = 12400 \text{ \AA}$ (yoki chastotasi $\nu_0 = 2,42 \cdot 10^{14} \text{ Gts}$) ga to'g'ri keladi. $3900 \text{ \AA}$ - $100 \text{ \AA}$ bo'lgan soha ultrabinafsha nurlanishlarga tegishli bo'lib, shundan $3900 \text{ \AA}$ dan $3100 \text{ \AA}$ gacha bo'lgan qismi shartli ravishda, *yaqin ultrabinafsha*, $3100 \text{ \AA}$ dan qisqa to'liqlin uzunligidagi qismi - *uzoq ultrabinafsha soha* deyiladi. $100 \text{ \AA}$ dan $0,1 \text{ \AA}$ gacha oraliqdagi diapazon *rentgen nur larga*, $0,1 \text{ \AA}$ dan qisqa diapazon esa *gamma nurlarga* tegishli sohalar hisoblanadi.

$7600 \text{ \AA}$ dan $150000 \text{ \AA}$ gacha bo'lgan diapazon *yaqin infraqizil*, $150000 \text{ \AA}$ dan 1 mm gacha bo'lgan diapazon *uzoq infraqizil soha* deyiladi. 1 mm dan o'nlab metrgacha bo'lgan elektromagnit nurlanishlar spektri diapazoni *radionurlarga* tegishli uchastka hisoblanadi.

Yer atmosferasi elektromagnit spektrning barcha diapazonida astronomik kuzatishlarni olib borishga imkon bermaydi. U optik nurlanishlarni yaxshi o'tkazgani holda, yaqin ultrabinafsha sohadan

tashqari qisqa to'liqlinli nurlanishlar (uzoq ultrabinafsha, rentgen va gamma nurlari) uchun tiniq emas. Xususan, infraqizil diapazon ($100000 \text{ \AA}$ dan ortiq to'liqlin uzunligidagi nurlanishlar) asosan suv bug'lari va is gazi molekulalari tomonidan kuchli yutiladi. Yer atmosferasi radiodiapazoni 1 sm dan 20 sm gacha, 1 sm dan qisqa diapazonda - 1 mm , $4,5 \text{ mm}$ va 8 mm li qismlari uchun tiniq bo'lib, bu diapazonlarga tegishli boshqa radionurlarni deyarli o'tkazmaydi. To'liqlin uzunligi bir necha o'n metrdan ortiq diapazonidagi radionurlar esa, Yer atmosferasining tashqi qatlamlari tomonidan keskin sochilishi va qaytarilishi hisobiga Yer sirtigacha yetib kela olmaydi.

4.2-§. Astrofizik instrumentlar.

Burchak o'lchash asboblari va astronomik quvurcha. Astrometrik masalalarni hal etish tamoyillari uzoq yillar mobaynida asosan gorizont va vertikal tekisliklarda burchaklarni o'lchash va vaqt momentlarini aniq qayd etib turish bilan bog'liq kuzatuvlarga kelib taqalgan. Burchaklarni o'lchash turli tuzilishga ega burchak o'lchov asboblari yordamida amalga oshiriladi. Astronomik burchak o'lchov asboblari yetarli darajada murakkab qurilmalardir. Bunday asboblarning asosiy qismlari aniq taqsimlangan doiralar va vizir vazifani bajaruvchi astronomik quvurchadan iborat. Astronomik quvurcha asosan tubus va uning uchlarida joylashgan 2 ta ikki tomonlama qavariq nur yig'uvchi linzalardan iborat. Bu linzalardan biri ob'ektiv, kuzatuvchi tomonidagi esa okulyar deyiladi. Ob'ektiv va okulyar markazlaridan o'tuvchi to'g'ri chiziqli quvurchaning optik o'qi deb yuritiladi. Ob'ektiv tufayli jismning tasviri hosil bo'lib, qavariq linzadan o'tgan nurlar uning kichiklashtirilgan va teskari tasvirini beradi. Osmon jismlarigacha bo'lgan masofalar juda katta bo'lganligi uchun ular ob'ektivning fokal tekisligida kichraytirilgan tasviri hosil bo'ladi. Okulyar esa, kuzatuv maydonini kattalashtiruvchi lupa vazifasini o'taydi. Tasvir aniq va keskin bo'lishi uchun okulyar fokus nuqtasi ob'ektiv fokus nuqtasi bilan mos tushishi kerak. Quvurchaning kattalashtirishi K ob'ektivning fokus masofasi F va okulyarning fokus masofasi f larning nisbatiga teng: $K=F/f$. Quvurchaning fokal tekisligi joyida ingichka va o'zaro tik bo'lgan ikki tola o'rnatilgan bo'lib, u kuzatilayotgan yoritqichga teleskopni aniq keltirish uchun ishlatiladi.

Universal asbob. Yerning istalgan nuqtasidan yoritqichning gorizont koordinatalarini o'lchash imkonini beruvchi burchak o'lchaydigan asboblardan biri universal asbobdir. U bir - biriga tik gorizont va vertikal o'qlar atrofida harakatlana oladigan astronomik quvurchadan iborat. Quvurchaning u yoki bu o'q atrofida burilish burchaklarini ikkita (vertikal va gorizont) doira yoki limblardan hisoblab olinadi. Ideal asbobda vertikal va gorizont o'qlar o'zaro perpendikulyar, vizir chizig'i esa gorizont o'qqa perpendikulyar bo'lib, aylanish o'qlarining markazlari aniq taqsimlangan doiralar markazlaridan o'tgan bo'lishi shart. Agar universal asbobda vertikal doira gorizont doiraga nisbatan aniqroq taqsimlangan bo'lsa, unda bu asbob vertikal doira deb yuritiladi. Agar gorizont doira vertikal doiraga nisbatan aniqroq bo'lsa unda bu asbob teodolit deyiladi.

Sekstant. Dengizda kemadan yoki havoda samolyotdan kuzatuvlar olib borish zaruriyati tug'ilsa, sekstant deb nomlanuvchi ko'chma asbobdan foydalaniladi. Sekstant yordamida kuzatuv olib borilayotgan vaqtda uni qo'lda tutib turiladi. Asosiy xususiyatlaridan biri shundan iboratki, unda ikkita vizirlanayotgan jismning tasviri bir vaqtning o'zida kuzatiladi.

Sekstantning ko'rish maydonida ikkita ob'ekt tasviri ustma-ust tushsa, unda bu ob'ektlar orasidagi burchak sekstant limbi orqali hisoblash mumkin bo'ladi.

Meridian doira. Meridian doira astronomik quvurchadan iborat bo'lib, u o'z navbatida gorizont o'q atrofida aylana oladi. Meridian doiraning gorizont o'qi aniq sharqdan g'arbga tomon yo'naltirilgan bo'lishi shart, shunda quvurcha aniq osmon meridiani tekisligida harakatlanadi. Meridian doira quvurchasi zenitga qaraganda ko'rsatkichlarining biri doiraning nol bo'lagini ko'rsatib turishi kerak. Unda quvurcha biror yoritqichga to'g'rilanganda ungacha zenit masofani ko'rsatadi.

Meridian doira quvurchasi osmon meridiani tekisligida aylana olgani uchun har bir yoritqichning faqat kulminasiyasi yaqinida kuzatish mumkin bo'ladi. Unda yoritqichning og'ishi δ yoki kulminasiya momentidagi zenit masofasi z ni hisoblash mumkin bo'ladi.

Yoritqichning to'g'ri chiqishini aniqlash uchun vizirning vertikal chizig'idan yoritqichning o'tish momentini soat bo'yicha qayd etiladi. Keyinchalik bu momentdan yoritqichning to'g'ri chiqishini hisoblash mumkin.

Passaj asboblari. Statsionar passaj asboblari tuzilishi meridian doira tuzilishiga o'xshab ketadi. U ham yoritqichlarning meridiandan o'tish momentlarini kuzatish uchun mo'ljallangan bo'lib, ulardan yoritqichlarning to'g'ri chiqishlari hisoblab olinadi.

Aniq vaqtni topish uchun kichik ko'chma passaj asboblari qo'llaniladi. Meridianga to'g'rilab o'rnatilgan ko'chma passaj asbob asosan yulduzlarga qarab aniq vaqtni aniqlashda ishlatiladi.

Zenit teleskop, prizmalı astrolyabiya, fotografik zenit quvurcha. Rasadxonalarda qo'llaniladigan, avval aytib o'tilgan asosiy asboblardan tashqari ayrim kuzatuvlar uchun maxsus asboblari qo'llaniladi. Masalan, zenit teleskop yulduzlarning zenit yaqinligida zenit masofalarning orasidagi kichik farqlarini aniq o'lchab beruvchi asbobdir. Zenit teleskoplardan asosan kuzatuv joyining aniq geografik kenglama qiymatlarini aniqlashda ishlatiladi. Prizmalı astrolyabiya yulduzlarni asosan qandaydir o'zgarmas balandlikda, odatda 60° ga yaqin, kuzatish uchun mo'ljallangan. U orqali kuzatuv joyining geografik kenglamasini va aniq mahalliy vaqtni aniqlash mumkin. Turli azimutlarda o'lchash uchun astrolyabiya vertikal o'q atrofida aylana oladigan qilinadi.

Fotografik zenit quvurcha ham kuzatuv joyining geografik kenglamasini va aniq vaqtni aniqlash uchun qo'llaniladi. Uning tuzilishi va kuzatuv usullari avvalgi aytib o'tilgan asboblardan tubdan farq qiladi. Fotografik zenit quvurcha vertikal qo'zg'almas quvurchadan iborat bo'lib, uning optik o'qi qat'iyan vertikal o'rnatilgan bo'lib, ob'ektiv tagiga simob gorizonti o'rnatiladi. Optik o'qqa perpendikulyar fotoplastinka joylashtiriladi, fotoplastinka osmon

meridiani tekisligiga perpendikulyar yo'nalishda harakatlantiriladi. Tanlangan yulduzning kulminasiyaga yaqin vaqtda plastinka vertikal o'q bo'yicha 180° ga o'giriladi. Natijada plastinkada yulduzning ikki qator bir necha tasviri hosil bo'ladi. Bu plastinkaga yulduz tasvirlaridan tashqari avtomatik tarzda yulduzning kulminasiya momenti va shu momentdagi uning zenit masofasi bosilib boradi. Bu ma'lumotlardan yulduzning og'ish va to'g'ri chiqishlarini bilgan holda kuzatuv joyining kenglamasini va aniq vaqtini hisoblash mumkin bo'ladi.

Astronomik soat va xronometrlar. Hamma astronomik kuzatuvlarda u yoki bu aniqlik darajasida kuzatilayotgan hodisalarning aniq vaqtlarini qayd etib va yozib bormoq zarur. Bu maqsadda turli tuzilishdagi astronomik soat va xronometrlar qo'llaniladi.

Mayatnik (kapkirli) soatlarning ishlashi tamoyili ideal sharoitda kapkirning o'z tebranish davrini o'zgartirmay turishiga asoslangan, bunda tebranish davri kapkirning uzunligiga bog'liqdir. Astronomik soatlar siferblati soat, minut va sekund millariga ega. Soat mexanizmi shunday tuzilganki, unda kapkirning har bir harakati bir necha metr naridan eshitiladigan qilinadi, unda soatga qaramay sekndlarni sanab tursa bo'ladi.

Kapkirning tebranish davri tashqi muhit ta'sirlariga, ayniqsa harorat va atmosfera bosimi o'zgarishiga juda sezgir. Bu ta'sirlarni kamaytirish maqsadida kapkirlarni maxsus eritmalaridan tayyorlanadi, soatni maxsus mis silindr idishga solib, uning ichidan havo so'rib olinadi, gohida qurilma maxsus xonalarda yoki yerto'lalarda saqlanadi. Bunday sistemadagi soat qurilmalarining turlari ko'p, eng ko'p qo'llaniladigani Short va Fedchenko sistemadagi soatlardir. Bu turdagi soatlardan tashqari hozirgi mahalda kvars soatlari qo'llaniladi. Ular ancha murakkab radioelektron qurilmalaridir. Kvars soatlardan chiqqan yuqori chastotali tebranishlar kuchlanishi chastotasi kamaytirilib, maxsus sinxron motorga uzatiladi. Motor o'qiga bog'langan reduktorlar orqali soat millari harakatga keltiriladi.

Molekulyar va atom soatlar tuzilishi juda murakkab va ular uzoq muddat uzluksiz ishlay olmaydilar, shuning uchun ular ko'pincha kvars soatlar bilan birgalikda ishlatiladi.

Xronometrlar (ko'chma soatlar) asosan ekspeditsiyalarda va kemalarda ishlatiladi. Tuzilishi jihatidan qo'l soatlarga o'xshab ketadi. Xronometrlar kapkirli soatlarga nisbatan aniqligi pastroq, afzalligi esa ularni u yerdan bu yerga olib yurishi mumkin, bunda soat aniqligiga putur yetmaydi.

Soat va xronometrlarning sifati ularning yurishi tekisligi bilan belgilanadi. Masalan, kvars soatlarning sutkalik xatoligi $\pm 0^s,0002$;

Kapkirli soatlarning Fedchenko sistemasi $\pm 0^s,0003$; Short sistemasi $\pm 0^s,001 - \pm 0^s,002$; yaxshi xronometrlarda esa sutkali xato $\pm 0^s,3$ gacha yetadi.

Soat yoki xronometrlar $24^h00^m00^s$ ni yulduz sutka yoki o'rtacha Quyosh sutka ichida hisoblaydigan qilib, moslashtirish mumkin, shunga qarab ular yulduz yoki o'rtacha soat deb yuritiladi.

Kuzatuv paytida aniq vaqt momentlarini qayd qilish uchun soat va xronometrlar maxsus kontakt moslamalar bilan taminlanadilar. Qayd qiluvchi moslamalar sifatida xronograf, xronoskop va elektron hisoblagichlar ishlatiladi.

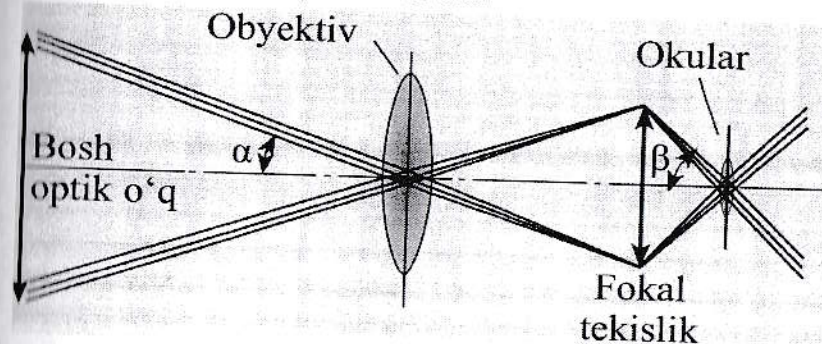
Teleskoplar va ularning vazifalari. Teleskoplar - astrofizik tadqiqotlar qilishda astronomlarning asosiy quroli bo'lib xizmat qiladi. Birinchi teleskop 1609-yili italyan olimi Galiley tomonidan ishga tushirilib, olim o'z instrumenti yordamida birdaniga bir nechta kashfiyot qildi. Xususan u Oyning relyefi Yernikiga o'xshashligi, Yupiter atrofidagi 4 yo'ldoshining mavjudligi, Veneraning fazalari, Quyoshning dog'i va Somon yo'lini yulduzlar tashkil qilganligini aniqladi. Bu kashfiyotlar teleskopning osmon jismlarining tabiatini o'rganishda juda katta imkoniyatlari avjudligini ma'lum qilib, astronomiyada yangi davrning ochilishidan darak berdi. Teleskopning ixtiro qilinishi astrofizikada muhim voqea bo'lib, u olam tuzilishi haqida ilmiy dunyoqarashning shakllanishida katta rol o'ynadi. Teleskoplarning imkoniyatlari juda katta bo'lib, quyidagi asosiy vazifalarni bajara olishi mumkinligini ko'rsatdi:

1) yoritgichdan kelayotgan nurlanishni qayd qilish (ko'z, fotografik plastinka, fotoelektrik qayd qilgich, spektrograf va hokazolar yordamida);

2) obyektivning fokal tekisligida kuzatilayotgan yoritgichning yoki boshqa osmon obyektlarining tasvirini qayd qilish;

3) qurollanmagan ko'z bilan qaralganda ajratib ko'rib bo'lmaydigan, o'zaro juda kichik yoy masofada joylashgan obyektlarni ajratib ko'rsatish.

Teleskopning asosiy qismi *obyektiv* deyilib, u qavariq linzadan yoki botiq sferik ko'zgudan yasaladi. Obyektiv oritgichdan turli yo'nalishda kelayotgan nurlarni yig'ib, fokal tekisligida uning tasvirini yasaydi. Agar numi qayd qilish ko'z yordamida bajariladigan bo'lsa, u holda obyektiv tomonidan yasalgan tasvirga qarash uchun okulyar zarur bo'ladi.



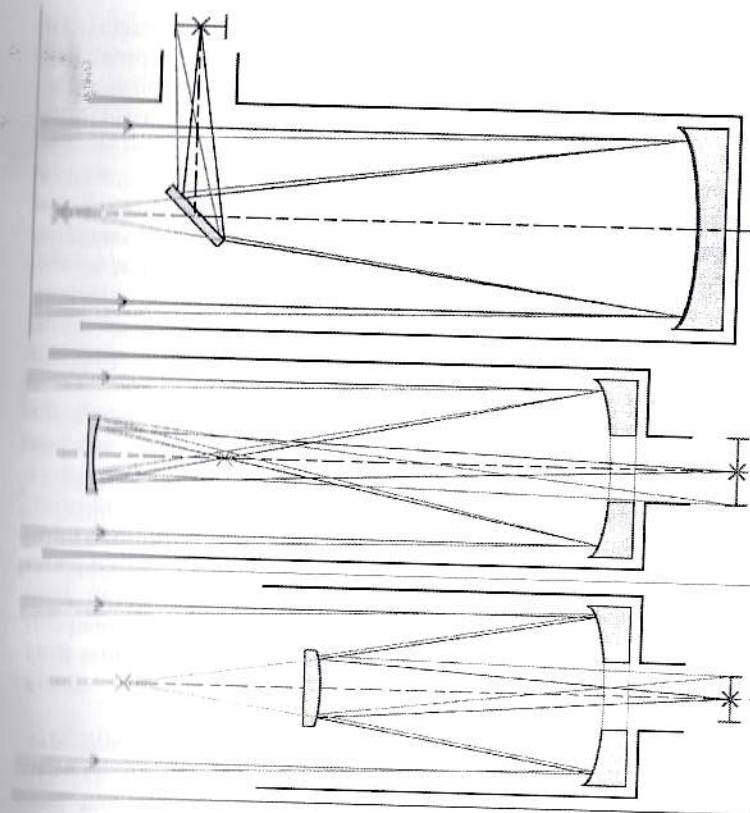
4.1-Rasm. Refraktor teleskopida nurning yo'li.

Teleskoplar, obyektivining turiga ko'ra, ikkiga - *refraktor* va *reflektor*ga bo'linadi. Refraktorda obyektiv sifatida *qavariq linza*, reflektorda esa *botiq sferik ko'zgu* ishlatiladi. Bunda teleskop obyektivi, yoritgichdan kelayotgan nurni uning fokusi F da yig'adi va shu nuqtadan bosh optik o'qqa tik o'tuvchi tekislikda (fokal tekisligida) yoritgichning tasvirini yasaydi. Yasalgan tasvirga kattalashtiruvchi linza - okulyar yordamida qarab, kuzatilayotgan osmon jismining (sayyora, Oy yoki Quyosh) burchak o'lchamining kattalashganini va ravshanlashganini ko'ramiz. Binobarin, teleskop bizga qaralayotgan osmon jismini ham ravshanlashtirib, ham kattalashtirib berayotganiga guvoh bo'lamiz. Yasalgan tasvirning ravshanlashishi, teleskop obyektivining diametriga va fokus masofasiga $\frac{D}{F}$ bog'liq bo'lgani holda uni kattalashtirishi obyektiv va okulyarning fokus masofalariga bog'liq boiadi. Tasvir fotoplastinkada yohud fotoelektrik bilan qayd qilinadigan bo'lsa, okulyar kerak bo'lmay, fotoplastinka yoki elektrofotometming kiritish diafragmasi bevosita teleskopning fokal tekisligida joylashtiriladi.

Birinchi refraktor rusumli teleskop astronomik maqsadlarda G. Galiley tomonidan 1610-yilda ishga tushirildi. Refraktorning obyektividan nur sinib o'tganligi tufayli uning fokal tekisligida nuqtali obyektning tasviri nuqta o'miga, rangli konsentrik halqalar ko'rinishida boiadi. Bu hodisa *xromatik aberratsiya* deyilib, turli to'lqin uzunlikdagi nurlar uchun linza, turlicha nur sindirish koeffitsiyentiga ega ekanligidan sodir boiadi.

Bunday teleskoplarda xromatik aberratsiya, turli nur sindirish ko'rsatkichiga ega boigan ikki xil shishadan tayyorlangan maxsus linza - *obyektiiv-axromat* yordamida ma'um darajada kamaytiriladi. Ma'lum nurning sirtidan qaytish qonunlari uning to'lqin uzunligiga bog'liq bo'lmaydi. Shuning uchun ham xromatik aberratsiyani kamaytirish maqsadida linzali obyektiv qaytaruvchi sferik ko'zgu bilan almashtirildi. Sferik ko'zguli birinchi teleskop-reflektor taniqli ingliz fizigi I. Nyuton tomonidan ishga tushirildi.

Bu xildagi teleskoplarning ham o'ziga yarasha kamchiligi bo'lib, yoritgichdan sferik ko'zguga parallel tushayotgan nurlar odatda bir nuqtada (obyektiv fokusida) yig'ilmay, chaplangan dog'cha shaklidagi tasvirni hosil qiladi. Sferik ko'zgudan qaytayotgan nurning nuqtaviy tasvir hosil qilmay bunday buzilishi *sferik aberratsiya* deb yuritiladi. Agar ko'zguga aylanma paraboloid sirt berilsa, u holda sferik aberratsiya yo'qolib, tasvir nuqtaviy ko'rinish olardi. Shuning uchun hozirgi teleskoplarning obyektivlari paraboloidal formada yasaladi.



4.2-rasm. Teleskopik sistemalar:
1. Nyuton sistemasi. 2. Gregori sistemasi. 3. Kassegren sistemasi.

Reflektorlar, kuzatish maqsadlariga ko'ra, bir necha turdagi sistemalarda ishlatilishi mumkin. Bevosita obyektivining fokusida kuzatish moijallangan teleskop - *to'g'ri fokusli reflektor* deyiladi.

Obyektivining fokusidan oldin bosh optik o'qqa burchak ostida qo'yilgan yassi ko'zgu yordamida fokusni trubadan yon tomonga chiqarilgan teleskop *Nyuton fokusli yoki sistemali reflektor* deyiladi (4.2-rasm,)

1) Bunday teleskop fokusidan keyin o'matilgan botiq sferik ko'zgu yordamida teleskop bosh ko'zgusining (obyektivining) markaziy teshigi orqali fokusi tashqariga chiqarilgan sistema *Gregori sistemali reflektor* deyiladi (34-rasm)

2) Va nihoyat, bosh ko'zgu fokusidan oldin o'matilgan qavariq ko'zgu yordamida, sistema fokusi obyektiv markazi teshigidan tashqariga chiqarilgan sistema *Kassegren sistemali reflektor* deyiladi (34-rasm)

3). Garchi bunday sistemalarda numing qo'shimcha ko'zgularidan qaytishi hisobiga anchayin nur yo'qolsa-da, teleskopning ba'zi predmetlarini (kattalashtirish, ajrata olish kuchi) maqsadga moslab o'zgartirilishi va qo'shimcha qayd qiluvchi asboblari biriktirilishining qulaylashtirishi bilan katta ahamiyat kasb etadi.

Astrofizik tadqiqotlarda yoritgichdan kelayotgan nurdan maksimal foydalanish juda muhim. Biroq refraktorlar linzasining shisha materiali nurni kuchli yutib, (ayniqsa, ultrabinafsha sohasida) ko'zgu, fotografik emulsiya yohud fotoelektrik qayd qilgichga tushayotgan nuri keskin chegaralaydi.

Shuningdek, fotomateriallar va fotoelektrik qayd qilgich asboblarning sezgirlik chegarasi ko'znikiga nisbatan keng bo'lganidan ularda xromatik aberratsiyaning ta'siri ham katta bo'adi. Shu bois astrofizik maqsaddagi kuzatishlarda refraktorlar o'miga reflektor keng qo'llaniladi.

Astrometriyada hozirga qadar ham refraktorlar qulay instrument hisoblanadi. Buning sababi, reflektorlarning uning aylanish o'qlari atrofida kichik burilishlarga ham juda sezgirligidir. Agar reflektor ko'zgisiga tushayotgan nur ma'lum α burchakka og'sa, undan qaytayotgan nurning yo'nalishi 2α burchakka og'adi va bu, fotoplastinkada obyekt tasvirining sezilarli siljishiga olib keladi. Refraktorda nurning bunday kattalikdagi burchakka (α) beixtiyor burilishi, fotoplastinkada tasvimi nisbatan juda kichik miqdorgagina siljishiga sabab bo'ladi. Bu esa asosiy maqsadi yoritgichlar o'zini aniq o'ichashdan iborat boigan astrometriya uchun juda muhimdir. Shuning uchun ham refraktorlar astrometriyaning asosiy instrumentlaridan hisoblanadi.

Ko'zguli teleskoplarda tasvir bosh ko'zguning optik o'qi yaqinidan qaytgan nurlarda juda tiniq chiqib, bosh optik o'qdan uzoqdan qaytgan nurlarda buzila boshlaydi (o'qdan tashqari aberratsiya tufayli). Shu bois reflektorlar yordamida osmonning taxminan $5^\circ \times 5^\circ$ dan katta maydonini rasimga olish maqsadga muvofiq bo'lmaydi. Buning uchun maxsus ko'zguli-linzali teleskoplardan foydalanishga to'g'ri keladi.

1. Sferik aberratsiyadan xoli teleskoplarni yasash ustidagi izlanishlar ko'zguli-linzali teleskoplarning yaratilishiga sabab bo'ldi. Bunday turdagi birinchi teleskop 1930-yilda taklif qilingan bo'lib, u *Shmidt sistemasi* deb yuritiladi. Shmidt sistemasi bosh ko'zgudan va uning egrilik radiusi markaziga o'rnatilgan shisha plastinkadan tashkil topgan bo'lib, shisha plastinkaning bir tomoniga shunday egrilik berilganki, natijada uning markaziy qismi yig'uvchi linza, gardishi esa sochuvchi linza kabi ishlaydi.

Bunday sistema tasvirni sferik aberratsiya, koma va astigmatizmdan xoli bo'lishini ta'minlashi bilan muhim hisoblanadi. Odatda, bunday sistemada buzilmagan (vinetirovaniyesiz) katta ko'rish maydoniga erishish uchun plastinkaning diametri D_1 ni ko'zguning diametri D_2 nikidan kichik qilinish, teleskopning o'lchami $\frac{D_1}{D_2}$ nisbat ko'rinishida beriladi.

Bobiq ittifoqda Shmidt sistemasidagi birinchi teleskop Engelgardt (Italiya) observatoriyasida 1938-yilda ishga tushirildi.

Reflektorlarning ko'zguli - meniskli sistemasi. U pulkovolik astronom D.D. Maksutov tomonidan 1941-1944-yillarda kashf etilgan bo'lib, sferik bosh ko'zgudan va uning fokal tekisligidan oldin o'rnatilgan, opuk kuchi ta'minan nurga teng bo'lgan sferik linzali meniskdan (botiq ko'zgudan) tashkil topgan. Bunday sistemada optik kamchiliklarning barcha turi (sferik va xromatik aberratsiya, koma, astigmatizm) yo'qotilganligi bilan boshqa sistemalardan afzal hisoblanadi.

Menskli reflektorlar, axromatik obyektivlarga nisbatan qariyb ming marta kam xromatik aberratsiyaga ega bo'lib, oddiy shisha-krodedan qilinganligi bilan qulay. Meniskli sistemadagi teleskoplar uzun truba, hashamath minora (kupol) talab qilmasligi, binobarin, kam xarajatligi bilan ham katta ahamiyat kasb etadi. Meniskli teleskoplarning o'lchami ham Shmidt sistemasiniki kabi $\frac{D_1}{D_2}$ ko'rinishida yozilib, D_1 meniskning diametrini, D_2 esa bosh ko'zguning diametrini xarakterlaydi. Birinchi yirik meniskli teleskop 50/67 sm Olma-ota observatoriyasida, keyinroq, imdan kattaroq 70/100 smli Abastuman observatoriyasida ishga tushirildi. Kichik o'lchamdagi meniskli teleskoplar ta'lim maktablari uchun chiqariladi.

4.3-§. Dunyoning yirik astronomik observatoriyalari.

Asrimizning 30 yillarida ko'plab osmon jismlari, jumladan gaz-chang tumanliklari radiodiapozonda nurlanishlari ma'lum bo'ldi. Osmon jismlarida millimetrlar diapazonidan to o'nlab metrgacha to'lqin uzunligida kelayotgan radionurlarni qayd qilishga mo'ljallangan teleskoplar-radioteleskoplar deb yuritiladi.

Radioteleskoplarning asosiy qismlari antenna va priyomnik bo'lib ko'pincha paraboli shaklida ishlanadi. Antenadan qaytgan radionurlar parabolioidning fokusidan joy olgan nurlatgich (ob'ektiv) nomi qurilmada yig'ilib so'ngra maxsus to'lqin uzatgich (volnovod) yordamida priyomnikka yo'naltiriladi. Signal priyomnikda kuchaytirilgach detektorlanadi va so'ngra maxsus o'zi qayd qilgich asbobda (samopisetsda) yozib olinadi. Priyomnik kuchaytirgichi kanday to'lqin uzunligiga mo'ljallangan bo'lsa, ob'ekt o'sha monoxromatik radionurda kuzatilayotgan bo'ladi.

Radioteleskoplarning metall ko'zgisini anikligiga talab, optik teleskoplarnikiga nisbatan ancha past bo'lib (to'lqin uzunligi katta radioto'lqinlar bilan ish qurilganligi tufayli) uning berilgan parabolik shakldan chetlanishi, λ to'lqin uzunligida ishlayotgan radioteleskop uchun λ/B dan katta bo'lmashligi lozim. Masalan: 1 metrli diapozonda ishlaydigan teleskoplar antenasining eslatilgan chetlanishi 12,5 santimetrgacha borishga ruxsat etiladi. Bir necha metrdan o'nlab metrgacha diapozondagi

radionurlarni qayd qilish uchun, parobalik antennalar o'rniga ba'zan ko'p sonli antennalar qo'llaniladi.

Radioteleskoplarni ajrata olish kuchini belgilash uchun, yo'nalganlik diagrammasi deyiluvchi maxsus xarakteristikadan foydalaniladi. Yo'nalganlik diagrammasi radioteleskopning antennaga nisbatan joylashgan radionurlanishning nuqtaviy manbai holatiga ko'ra sezgirlikni xarakterlaydi. Parabolik antennali radioteleskopning yo'nalganlik diagrammasi paraboloid o'qiga nisbatan simmetrik bo'ladi.

Radioteleskopning burchagi ajrata olish kuchi, ya'ni teleskop alohida ob'ektlar sifatida qayd qila oladigan ikki ob'ekt orasidagi eng kichik oraliq taxminan yo'nalganlik diagrammasi markaziy bargining yarim quvvatiga to'g'ri kelgan kengligiga teng burchak bo'lib, u quyidagicha topiladi:

$$\delta = \frac{\lambda}{D}$$

bu erda λ -radioteleskop ishlayotgan radioto'lqin uzunligini, D -antennaning diametrini xarakterlaydi. Radioteleskoplar ko'zgusini diametri yirik bo'lishiga qaramay, ular katta to'lqin uzunliklarida ishlaganliklari tufayli optik teleskoplarga qaraganda, ajrata olishning quvvati bo'yicha ulardan qolishadi. Biroq, radioteleskoplar radiointerferometr sifatida ishlaganda juda yukori ajrata olish kuchiga erishish mumkin.

Oddiy radiointerferometr bir-biridan bazis deyiluvchi anchayin katta masofaga eltilgan ikki radioteleskopdan tashkil topib radioteleskoplarning ma'lum ob'ektdan nurlatkich (obluchatel)lar yordamida qayd qilinayotgan signallar kabilar orqali bitta priyomnikka uzatiladi.

Ma'lum bazisli radiointerferometrda aniq manbadan λ to'lqin uzunligida signal qabul qilinayotgan bo'lsa, ob'ektdan bu ikki teleskopga kelayotgan nurlar yo'lining farqi - ΔL butun sonli to'lqin uzunliklariga teng bo'lganda:

$$\Delta L = a \sin \alpha = n \lambda$$

signallar priyomnikka bir xil fazada kelganidan qo'shiladi. Agar

$$\Delta L = \left(n + \frac{1}{2}\right) \lambda$$

bo'lsa, signallar qarama-qarshi fazada keladi va oqibatda, qayd qilinadigan signal, ularning amplitudalarining farqiga teng bo'ladi. Natijada radiointerferometrning yo'nalganlik diafragmasi bitta radioteleskopnikidan farqli o'laroq, bazisdan o'tgan tekislik bilan kesilganda, tor bargchalardan iborat ko'rinishda bo'lib, ikki qo'shni bargchalar maksimumlari yoki minimumlari orasidagi burchak $\Delta\theta$:

$$\Delta\theta = \arcsin \frac{\left(n + \frac{1}{2}\right) \lambda}{a} - \arcsin \frac{n \lambda}{a} \approx \frac{\lambda}{a} = \delta$$

orqali topiladi. Bu erda δ - radiointerferometrning ajrata olish kuchini xarakterlab, a -bazis juda katta bo'lganda, u juda yuqori bo'lishini tushinish qiyin emas. Masalan:

$\lambda = 1$ m bazis $a = 1000$ km bo'lganda, radiointerferometrning ajrata olish kuchi

$$\delta = \frac{1_M}{10^6_M} \cdot 5,73 \cdot 60 \cdot 60' = 0,206''$$

ga teng bo'ladi.

Demak bunday interferometr yordamida metrli diapazonda bir biridan $0,2''$ li yoy masofagacha joylashgan ob'ektlarni ajratib qurish mumkin. Bunday interferometrlar ob'ektning burchakli razmerini va ma'lum bir koordinatasi bo'yicha radioravshanlikning taqsimlanishini aniqlashga imkon beradi. Oxirgi yillarda antennalar va priyomniklar turli qit'alarda joylashgan radiointerferometrlar yordamida kuzatish usuli ishlab chiqildi. Bunday usul yordamida kuzatish natijasida interferometrning ajrata olish kuchi $0,0003''$ ga etdi. Mazkur kuzatishda ishtirok qilgan uchta radioteleskopning biri Avstraliyada (65 metrli), ikkinchisi Rossiyada (22 metrli) va uchinchi AQSH da joylashgan edi.

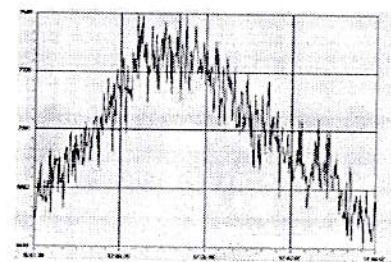
Ayni paytda planetamizning turli qit'alarida o'nlab o'tasezgir radioteleskoplar ishlab turibdi. Ko'zgularining diametri 65 metr (Avstraliya), 76 metr (Angliya), 100 m (GFR), 300 m (AQSH) va 600 m (Rossiya) keladigan radioteleskoplar astronomlarga, Koinotning yuzlab tabiiy radiomanbalaridan tinimsiz ma'lumotlar berib turadilar (- rasmlar).

O'zbekiston xududida Jizzax viloyatining Zomin tumanida, tog' etagining Supa degan joyida, metall ko'zgusining diametri 70 metr bo'lgan yirik radioteleskop kurilmokda.

Bu teleskoplar Koinotning "radiobashara"sini nozik detallari bilan ko'rishga imkon beradi.



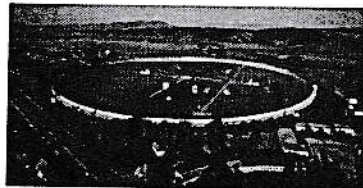
Ispaniyadagi 30 metrli radioteleskop



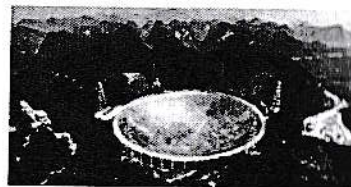
Radioteleskop tutgan signallar grafigi

4.4-rasm: Radioteleskop va unda tutiladigan signallar

Eng katta radioteleskoplar



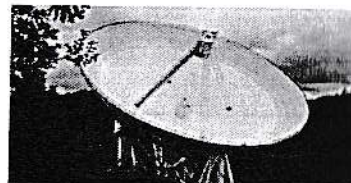
600 metrli radioteleskop
RATAN-600, Rossiya



500 metrli radioteleskop
FAST, Xitoy



300 metrli radioteleskop
Arecibo, AQSH



100 metrli radioteleskop
Germaniya

4.5-rasm: Dunyodagi eng katta radioteleskoplar

Eng qudratli radioteleskoplar



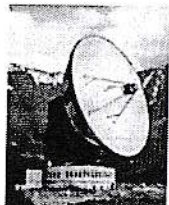
30 metrli radioteleskop,
Ispaniya



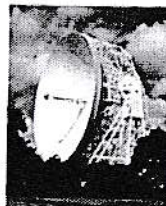
45 metrli radioteleskop,
Yaponiya



50 metrli radioteleskop,
Meksika



70 metrli radioteleskop,
O'zbekiston (qurilmoqda)



76 metrli radioteleskop,
Angliya



100 metrli radioteleskop,
AQSH

4.6-rasm: Millimetrli diapazondagi to'liqlarni tutuvchi eng qudratli radioteleskoplar

Ulug'bek rasadxonasining «bosh teleskopi». Osmon jismlarini o'rganishda buyuk vatandoshlarimizning ham xizmatlari katta bo'lgan. Ulardan biri - Amir Temurning nabirasi Mirzo Ulug'bekdir. XV asming o'rtalarida Ulug'bek Muvoraunnahrning taniqli astronomlaridan Qozizoda Rumiy, Jamshid Koshiylarni Samarqandga taklif etib ular bilan osmon jismlarini tekshiradigan astronomik rasadxona, jumladan, eng yirik kuzatish asbobi - sekstantni qurish bo'yicha maslahat qildi. Olimlar bir ovozdan bu filarni quvvatlashgach, 1420-yillarning boshida Samarqandning Ko'hak degan tepalik ustida radiusi 40,2 metrga teng bo'lgan astronomik kuzatish asbobini qurishni boshladilar.

Mazkur asbobning ishchi yoyi, aylana uzunligining $1/6$ qismini, ya'ni 60° ni tashkil etib, uzunligi 50 metrdan ortiq bo'lgan. Bu astronomik asbobning qurilishi yer sirtida 11 metrcha chuqurlikda boshlanib, mazkur sirdan balandligi qariyb 30 metr kelardi. Asbobning 1° ga teng yoyi uzunligi 70,2 santimetrni tashkil etib, o'lchash aniqligi 10 sekundli yoyga teng bo'lgan.

Bu ulkan kuzatish asbobi yuz yillar davomida Samarqand tarixan boshdan kechirgan urushlar oqibatida vayron qilindi va keyinchalik izsiz yo'qoldi. 1908-yili arxeolog Vyatkin tomonidan rasadxona o'rni aniqlanib, tuproqdan tozalangach, uning qoldiq yoyi - sekstantning yer osti qismi topildi.

4.4-5. Astrometriya haqida tushuncha. Ko'rinma yulduz kattaligi.

Yulduzlar - Koinotda eng ko'p tarqalgan va Koinotning 98 foiz massasini o'zlariga jamlab olgan ob'ektlardir. Yulduzlarning asosiy xususiyatlarini ularning massasi, yorqinligi va radiuslari aniqlaydi.

Yulduzlar o'zlarining turli-tumanliklari bilan ajralib turadilar. Ularning orasida umumiy xususiyatlarga ega bo'lganlarini alohida gruppalariga ajratishimiz mumkin. Bunday ajratishlar barcha yulduzlarni o'rganishimiz uchun qulaylik yaratadi. Ayniqsa ularni ichida yo'ldoshlarga, pulsatsiya, chiqqashlarga va hakoazolarga ega bo'lganlari qiziqarlidir. Bunday yulduzlar ko'pincha nostatsionar yulduzlar deb yuritiladi. Ularda bo'lgan yoki bo'layotgan hodisalarni o'rganish, bizga Koinotning umumiy holatini tasavvur qilishimizga imkoniyat yaratadi. Yuqoridagi xususiyatlarga ega bo'lmagan yulduzlar normal yulduzlar deyiladi. Tabiiyki biz yulduzlarni o'rganishni normal yulduzlardan boshlaymiz.

Yulduzlar qadim zamonlardayoq o'zlarining ko'rinma ravshanligiga qarab yulduz kattaliklari bo'yicha sinflarga bo'lingan. Eng yorug' yulduzlar 1-kattalikdagi, keyingilari 2-kattalikdagi va hakoza deb atalgan. Oddiy ko'zga ko'rinadigan eng xira yulduzlar 6-kattalikdagi yulduzlardir. Keyinchalik bunday bo'linish oddiy ko'z bilan ko'rib bo'lmaydigan teleskopik yulduzlar sohasida ham davom ettirildi. Hozirgi zamon eng katta teleskoplar yordamida

oddiy ko'z bilan kuzatilganda 18-kattalikkacha bo'lgan yulduzlarni, fotosuratga olganda 23-kattalikkacha bo'lgan yulduzlarni ko'rish mumkin. Yulduz kattaliklari m harfi bilan belgilanadi (masalan 15^m - bu 15 -yulduz kattaligi).

Yulduzlarni kattaliklarga bo'lish oldin ixtiyoriy hisoblangan bo'lsada, u kishi ko'zining nurlarni qabul qilishi bilan bog'liq bo'lgan aniq asosga ega. 1-kattalikdagi yulduzlar o'rta hisobda 2-kattalikdagi yulduzlardan necha marta yorug' bo'lsa, 2-kattalikdagi yulduzlar ham 3-kattalikdagi yulduzlardan shuncha marta yorug' va hokazo. Shuni hisobga olsak, ketma-ket kattalikdagi yulduzlarning ravshanligi geometrik progressiyani tashkil etadi. Ketma-ket turgan ikki sinf ravshanligining nisbati (ya'ni, progressiyaning maxraji) taxminan $2,5$ ga teng. 1-kattalikdagi yulduzlarning ravshanligi 6-kattalikdagi yulduzlarning ravshanligidan deyarli 100 marta kattadir. Shuning uchun progressiya maxrajining kattaligi $\sqrt[3]{100} = 2,512$ ga, bu sonning logarifmi esa $0,4$ ga teng bo'ladi. Bu yulduz kattaligidan ularning ravshanligiga o'tishni juda osonlashtiradi. Masalan, yorug'roq yulduzning kattaligi n , xiraroq yulduzniki m bo'lsin ($m > n$); ular ravshanliklari I_n va I_m nisbati

$$\frac{I_n}{I_m} = 2,512^{m-n} \quad (1)$$

Bu ifodani logarifmlasak va $\lg 2,512 = 0,4$ ekanligini e'tiborga olsak,

$$\lg \frac{I_n}{I_m} = 2,512^{m-n} \quad (2)$$

Yoki

$$m - n = 2,5 (\lg I_n - \lg I_m). \quad (3)$$

Yulduzlarning ravshanligini yanada aniqroq baholash uchun oraliq bo'limlar kiritilgan; bunda yulduz kattaliklari n li kasr ko'rinishidagi bo'limlarga bo'lingan. Eng yorug' yoritgichlar uchun manfiy sonlar ishlatiladi. Masalan, osmondagi eng yorug' yulduz Siriusning yulduz kattaligi $-1^m,58$ ga teng. Shimoliy yarim sharning eng yorug' yulduzi Vega taxminan $0^m,1$ yulduz kattaligiga ega. Quyoshning yulduz kattaligi $-26^m,8$ deb qabul qilingan (to'linoyning yulduz kattaligi o'rta hisobda $-12^m,6$).

Yulduzning osmondagi vaziyati uning α va δ koordinatalari bilan aniqlanadi. Yulduzning asbob yordamida bevosita o'lchangan koordinatalarini dastavval asbobning xatolaridan ozod qilish kerak; u vaqtda yulduzning kuzatilgan vaziyati hosil bo'ladi. Topilgan koordinatalarni

refraktsiya va sutkalik aberratsiya ta'siridan ozod qilib yulduzning ko'pinma koordinatalari deb ataluvchi koordinatalarini hosil etamiz; yulduzning ana shunday koordinatalar bilan aniqlanadigan vaziyati uning ko'rinma o'rni deyiladi.

Yulduzning ko'rinma koordinatalari hamma vaqt ikki sababga ko'ra o'zgarib turadi: 1) aberratsiya tufayli yulduz yil davomida kichkina ellips chizadi; 2) pretsessiya va nutatsiya tufayli tug'ri chiqishni hisob boshi bo'lgan bahorgi tengkunlik nuqta va og'ishlarni o'lchashda asos qilib olingan ekvator hamma vaqt siljib turadi. Shuning uchun hisoblashlarda: a) yulduz koordinatalarini aberratsiya ta'siridan qutqaziladi (yulduzni aberratsion ellips markaziga o'tkaziladi); va b) turli kunlarda aniqlangan yulduz koordinatalarini tengkunlik nuqtasi va Qutbning ma'lum bir vaziyatiga keltiriladi. Odatda bunday vaziyat sifatida kuzatish yilining boshi olinib, hisoblashni «yilning boshiga keltirish» deyiladi. Yulduzning ana shu usulda topilgan vaziyati yilning boshiga keltirilgan o'rtacha o'rni deyiladi. Ko'pincha yulduzning turli vaqtlarda aniqlangan, ammo bir ma'lum yilning boshiga keltirilgan o'rtacha koordinatalari vaqtga proporsional ravishda ham o'zgaradi; bu shu yulduzning sezilarli darajada o'ziga xos harakati borligidan dalolat beradi.

Yulduzlarning biror belgisiga qarab tuzilgan ro'yhatlari yulduz kataloglari deb ataladi. Hali teleskop ixtiro etilmagan qadim zamonlardayoq yulduz kataloglari tuzila boshlangan edi. Shulardan bizgacha etib kelgani Ptolemey katalogi (eramizning II asri) bo'lib, u o'zidan ham qadimgi Gipparx katalogi (eramizdan oldingi II asr) ga asoslangan; unda mingga yaqin yulduzning astronomik kengligi va uzunligi berilgan. XV asrning boshida Ptolemey katalogidagi hamma yulduzlarning vaziyatlari Samarqanddagi Ulug'bek observatoriyasida qaytadan aniqroq qilib belgilangan.

Hozirgi zamon yulduz kataloglari ikkita asosiy gruppalariga bo'lingan: 1) yulduzlar obzori va 2) aniq kataloglar.

1) Birinchi gruppadagi kataloglar son jihatidan iloji boricha ko'proq yulduzlarni ro'yhatga olishga intilsada, ulardagi yulduzlarning vaziyati kam aniqlik (gacha) bilan beriladi. Ulardan eng muhimini Argelander (1862 yil) tuzgan („Bonner Durchmusterung“ qisqacha BD - „Bonn obzori“). Bu katalogda og'ishi $+90^\circ$ dan -2° gacha va yulduz kattaligi $9^m,5$ gacha bo'lgan 324000 yulduz berilgan.

Og'ishi $-2^\circ,2$ dan -90° gacha bo'lgan yulduzlar uchun xuddi shunday katalog Argentinada tuzilgan. U „Cordoba Durchmusterung“ - „Kordoba obzori“ bo'lib, kattaligi 12^m gacha bo'lgan 613955 ta yulduzni o'z ichiga olgan.

Ikkala katalog ham astrofotografiya kiritilmasdan ilgari tuzilgan, lekin ular hozirgacha ham o'zining ilmiy qiymatini yo'qotgan emas. Osmonning janubiy yarim shari (og'ishi -19° dan -90° gacha bo'lgan yulduzlar) uchun fotografiya yordamida tuzilgan katalog bu „Sare Photographic Durchmusterung“, ya'ni „Kap fotografik obzori“ qisqacha CPD bo'lib, u 12^m kattaligigacha bo'lgan 451875 yulduzni o'z ichiga oladi.

2) Ikkinchi grupp kataloglari deyarli kam yulduzlarni o'z ichiga olsada, lekin yulduzlarning vaziyatlari imkoni boricha juda katta (sekundning o'ndan bir va hatto yuzdan bir ulushigacha) aniqlik bilan beriradi. Bu gruppadagi kataloglardan eng ahamiyatlilari fundamental kataloglardir. Ular faqat boshqa yulduzlar, planeta va kometalarning vaziyatlarini aniqlashda tayanch nuqtalar vazifasini bajaradigan va tanlab olingan ma'lum yulduzlarni o'z ichiga oladi. Bunday yulduzlar muntazam kuzatib boriladi va ularning kooordinatalari har yili astronomik haryilliklarda beriladi.

3) Yulduzlarning ekvatorial koordinatalari er sirtidagi nuqtalarning geografik koordinatalariga juda o'xshaydi. Shaharlar geografik kartalarga qanday olinsa, har bir yulduzni ham xuddi shunday ma'lum kartografik proektsiyada hisoblangan koordinatalar turida nuqta bilan belgilash mumkin. Shuning uchun ham yulduz kartalari va yulduz atlaslarini uzoq vaqtlardan buyon tuza boshlaganlar. Albatta, bunday kartalar dastlab oddiy ko'z bilan ko'rish mumkin bo'lgan yulduzlar uchun tuzilgan. Bonn va Kordoba yulduzlar obzorlari kartalar tarzida ham nashr etilgan. Hozirgi vaqtda fotografiya yordami bilan tuzilgan va 17-kattalikdagi va hatto bundan ham xira yulduzlarni o'z ichiga olgan yulduz atlaslari mavjud.

Yulduzlar qancha xira bo'lsa, ularning soni ham shuncha ko'p. Ikkala yarim sharda oddiy ko'zga ko'rinadigan yulduzlar uchun quyidagi ma'lumotlarni keltiramiz. Bunda, kattaligi 1,5 dan yorug' bo'lgan yulduzlar 1-kattalikda, kattaligi 1,5 dan 2,5 gacha bo'lgan yulduzlar 2-kattalikda va hokazo deb olingan.

Kattalik	Yulduzlar soni	Kattalik	Yulduzlar soni
1	20	4	458
2	46	5	1478
3	134	6	4840

Shunday qilib, butun osmonda oddiy ko'z bilan etti mingga yaqin, ya'ni kishilar odatda o'ylaganiga qaraganda ancha kam yulduzni ko'rish mumkin. Bu son kishilar ko'zining o'tkirligiga bog'liq bo'lib, ba'zilar 7 mingdan oz, ba'zilar 7 mingga yaqin yulduzlarni ko'rish mumkin.

Teleskopik yulduzlar uchun:			
Kattalik	Yulduzlar soni	Kattalik	Yulduzlar soni
7	15000	10	407000
8	45000	11	1175000
9	138000	12	3240000

Kuzatuv natijalari turli kattalikdagi yulduzlar soni taxminan geometrik progressiya tashkil etishini ko'rsatadi va bu progressiyaning maxraji 3 ga teng. Xira yulduzlarga o'tgan sari progressiyaning maxraji o'zgarmas bo'lib qolmay, balki sekin-asta kamayib boradi. Bu yulduzlar olamining tuzilishini tasavvur qilishimizga va muhim xulosalarni chiqarishimizga yordam beradi.

Xira bo'lgan yulduzlarning soni juda noaniqdir, masalan, 16-kattalikdacha bo'lgan yulduzlarning soni taxminan 100 mln. atrofida deb baholash mumkin. Bu sonlarning hammasi ko'z bilan baxonalanadigan ko'rinishda ravshanlikka tegishlidir. Fotografik ravshanlik uchun ma'lum kattalikka kiritilgan yulduzlar soni ancha kam.

Chunki yulduzlar orasida, ayniqsa xiralari orasida, ko'pgina qizg'ish nuqtalari borki, ular fotosuratlarda, ko'z bilan qaraganga nisbatan, ba'zan bir va hatto, bundan ham ko'prok yulduz kattaligiga xiralashib chiqadi.

Yulduzning ravshanligi masofaga bog'liq bo'lib, u yulduz tarqatayotgan yorug'likning haqiqiy kuchi to'g'risida bizga hech qanday ma'lumot bermaydi. Turli yulduzlarning yorug'lik kuchlarini solishtirish uchun, ularning hammasi bizdan bir xil masofada bo'lganlarida qanday yulduz kattaligiga ega bo'lishlarini hisoblab chiqish lozim bo'ladi. Xalqaro kelishuvga muvofiq ana shunday normal masofa 10 parsek, ya'ni parallaksi 0,1 ga mos keladigan masofa qabul qilingan.

Absolyut yulduziy kattalik deb, yulduzning 10 parsek masofadagi yulduz kattaligiga aytiladi. Agar yulduzning ko'rinma kattaligi m va uning parallaksi π (binobarin, masofa r) ma'lum bo'lsa, absolyut kattalikni hisoblash oson.

Absolyut yulduz kattaligini M bilan, yulduzning 10 ps masofadagi ravshanligini I_M bilan, uning ko'rinma ravshanligini va ko'rinma yulduz kattaligini mos holda I_m va m bilan ifodalaylik. U holda

$$\frac{I_M}{I_m} = 2,512^{m-M}.$$

Lekin yulduzning ravshanligi masofalar kvadratlariga teskari proporsional ekanligini hisobga olsak, u holda

$$2,512^{m-M} = \frac{r^2}{10^2}$$

bo'ladi. $\lg 2,512 = 0,4$ ekanligini e'tiborga olib, oxirgi tenglikni ifodalaymiz:

$$\begin{aligned}
 0,4(m - M) &= 2 \lg r - 2 \\
 m - M &= 5 \lg r - 5 \\
 M &= m + 5 - 5 \lg r \\
 (4)
 \end{aligned}$$

yoki

$$M = m + 5 + 5 \lg \pi. \quad (5)$$

(4) formula yulduz astronomiyasining eng muhim formulalaridan biridir. Ko'p hollarda, yulduzning ko'rinma kattaligi m dan tashqari, uning absolyut kattaligi M ni (masalan, yulduzning spektriga qarab yoki yulduz ravshanligining o'zgarish xarakteriga qarab) aniqlash mumkin bo'ladi; u holda (4) formuladan yulduzgacha bo'lgan masofani aniqlashimiz mumkin:

$$\lg r = 1 + 0,2(m - M),$$

bu erdagi $(m - M)$ kattalik masofa moduli deyiladi. Misol sifatida ko'rinma kattaligi $m = -26^m,8$ ga teng bo'lgan quyoshning absolyut kattaligini topaylik. Quyoshgacha bo'lgan masofa 1 a.b. Buni yuqoridagi formulaga qo'ysak,

$$M = -26^m,8 + 5^m + 26^m,6 = 4^m,8$$

bo'ladi, boshqacha qilib aytganda, 10 ps masofadan quyosh 5-kattalikdagi yulduzdan bir oz yorug' bo'lib ko'rinadi.

Yulduzning kattaligini aniqlaganimizda biz kuzatuvchiga kelib tushayotgan yo'nalishdagi nurlanish oqimidan foydalanamiz. Hamma yo'nalishdagi nurlanishni aniqlash uchun unga tuzatma qo'shishga to'g'ri keladi. Tuzatma qo'shilgandan keyingi yulduz kattalik bolometrik kattalik deyiladi. Bolometrik va ko'rinma kattaliklar orasidagi farq bolometrik tuzatma deyiladi:

$$\Delta m_{bol} = m_{bol} - m_v = M_{bol} - M_v.$$

Bolometrik tuzatma nazariy ravishda hisoblab topiladi va u haroratga bog'liqdir. quyidagi jadvalda nazariy hisoblangan bolometrik tuzatmalarning haroratga bog'liqligi keltirilgan.

Effektiv harorat	Δm_{bol}
3 000	-1,7
4 000	-0,6
5 780 (Quyosh)	-0,07
6 000 - 8 000	0,0

10 000	-0,2
20 000	-1,6
50 000	-4,1

Hamma yo'nalishda yulduzdan chiqayotgan energiya oqimi shu yulduzning yorqinligi (L) deb ataladi; yulduzning yorqinligini Quyoshning yorqinligi bilan solishtirgan holda quyidagi formuladan topish oson:

$$L = 2,512^{4,7-M}.$$

Yulduzlarning yorqinligi juda keng diapozonlar ichida o'zgaradi. Bir tomondan, biz quyoshdan o'n minglarcha yorug' bo'lgan yulduzlarni uchratsak (masalan, Oriondagi eng yorug' yulduzi Rigel quyoshdan 20000 marta yorug'), ikkinchi tomondan, bizga shunday yulduzlar ma'lumki, ular quyoshdan o'n minglarcha marta xira; masalan, Quyoshga eng yaqin bo'lgan yulduz, Sentavr α sining uzoq yo'ldoshi - Yaqin Sentravra - (u Quyoshdan taxminan 20000 marta xira) shular jumlasidandir.

Oddiy ko'zga ko'rinadigan yulduzlardan ko'pchiligi quyoshdan bir necha marta yorug', lekin ularning bunday yorug' ko'rinmasligiga sabab ularning juda uzoqda bo'lishidir. Umuman, yulduzlar olamida yorug' yulduzlarga nisbatan yorqinligi kam bo'lgan yulduzlar ko'proq uchraydi.

Ma'lumki har qanday qizdirilgan jism elektromagnit nurlanishning manbai bo'lib, o'zidan nur chiqaradi. Issiqlik nurlanishi deyiluvchi bunday nurlanishning chastotasi, jismning temperaturasi ortishi bilan ortib borib, taxminan 1000°K ga qadar jism infraqizil va radiodiapozonda, so'ngra unga ko'ra ko'rinadigan diapozondagi (qizil rangli nurdan-binafsha ranggacha) nurlanish qizdirish yana davom ettirilganda esa, ultrabinafsha va rentgen diapozondagi nurlanishlar qo'shiladi.

Ma'lum temperaturagacha qizdirilgan jism uning rangini belgilovchi aniq diapozonda kuchli nurlanadi. Masalan 2000°K gacha cho'g'lantirilgan jism qizil diapozonda, 6000°K gacha qizdirilgan jism sariq diapozonda, kuchli nurlanadi va hokazo. Biroq, shuni aytish kerakki, ma'lum cho'g'langan jism spektrida energiyaning taqsimlanishi umumiy xolda, faqat uning temperaturasigagina bog'liq bo'lmay, uning ximiyaviy tarkibiga va fizik holatiga bog'liq bo'ladi.

Issiqlik nurlanishi qonunlari faqat termodinamik muvozanatdagi jism uchun sodda ko'rinishga ega bo'lib, uning nurlanishi (muvozanat nurlanish) temperatura orqali aniqlanishi mumkin.

Nurlanayotgan jism termodinamik muvozanatda bo'lishi uchun, u tashqi muhit bilan issiqlik o'tkazmaydigan ideal devor bilan o'ralgan bo'lishi lozim. Faqat shundagina bu jismni chegaralovchi hamma qismlarida

temperatura bir xil qiymatga erishib, issiqlik muvozanati t , ya'ni termodinamik muvozanat ro'y beradi.

Termodinamik muvozanatdagi jism absolyut qora jism deyilib, uning nurlanish qobiliyati Plankning ushbu formulasi yordamida hisoblanadi:

$$\varepsilon_{\lambda} d\lambda = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1} d\lambda$$

bu erda $\varepsilon_{\lambda} d\lambda$ jismning 1 sm^2 yuzasidan hamma tomonga spektrning λ , $\lambda + d\lambda$ intervalida nurlanayotgan yorug'lik oqimini xarakterlaydi va $\text{erg}/\text{sm}^3 \cdot \text{sek}$ da o'lchanadi.

Termodinamik muvozanatdagi jism uchun hamma sirtning ravshanligi V ushbu yo'nalishda bir xil bo'lib,

$$dB = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1} d\lambda$$

ifodadan topiladi.

Absolyut qora jismning spektrida energiyaning Plank formulasida bo'ysungan taqsimlanishi (plank egriliklari), temperaturaning turli qiymatlarida turlicha bo'ladi. Plank egriliklarining maksimumi to'g'ri kelgan to'lqin uzunligi jismning absolyut temperaturasi bilan

$$\lambda_{\max} = \frac{0,290 \text{ cm} \cdot \text{K}}{T}$$

ko'rinishda bog'lanib, u Vinning siljish qonuni deb yuritiladi. Bu qonunga ko'ra, absolyut qora jismning temperaturasi ortishi bilan uning nurlanishining maksimumi spektrning qisqa to'lqinli tomoniga siljiydi.

Absolyut qora jismning nurlanish quvvati ham uning temperaturasi bog'liq bo'lib, bu bog'lanish qonuni Stefan-Boltsman qonuni deyiladi.

Bu qonunga ko'ra absolyut qora jismning har kvadrat santimetr yuzasi 1 sekundda barcha yo'nalishlar bo'ylab, hamma to'lqin uzunligida quyidagi formula bilan hisoblanadigan energiyani beradi:

$$\varepsilon = \sigma T^4$$

bu erda $\sigma = 6,67 \cdot 10^{-8} \text{ K}/\text{m}^2 \cdot \text{C} \cdot \text{K}^4$ - Stefan-Boltsman doimiysi deyiladi.

Plank egriligining maksimumidan qisqa to'lqin tomonga nurlanish qobiliyati $\frac{hc}{\lambda kT} \gg 1$ bo'lganidan Plank formulasi quyidagicha ko'rinishni oladi:

$$\varepsilon_{\lambda} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \cdot e^{-\frac{hc}{\lambda kT}}$$

bu ifoda Vin formulasi deb yuritiladi.

Uzun to'lqin tomonda esa to'lqin uzunligi kattaligidan $e^{\frac{hc}{\lambda kT}} \approx 1 + \frac{hc}{\lambda kT}$ bo'lib, Plank formulasi Reley-Jins formulasi deb yuritiluvchi ushbu ifodaga aylanadi:

$$\varepsilon_{\lambda} = \frac{2\pi c}{\lambda^4} \cdot kT$$

Binobirin uzun to'lqinli diapozonda absolyut qora jismning nurlanishi temperatura bilan chiziqli bog'lanishda bo'ladi.

Astrofizik metodlar ichidi spektral analiz, osmon jismlarining fizik tabiatini tadqiq qilish borasida alohida ahamiyat kasb etadi. O'tgan asrning o'rtalarida yulduz va planetalarning fizik tabiati spektral metod yordamida o'rganishni italiyalik astronom Sekki boshlab berdi. Astronomiyada yangi bu metodning qo'llanishi, osmon jismlarining temperaturasi, ximik tarkibini, magnit maydoni kuchlanganligini, harakat tezligini, masofasini va boshqa talay yoritgichga tegishli fizik parametrlarni aniqlashga imkon berib, katta yutuqlarni qo'lga kiritilishiga sabab bo'ldi.

Nurlanayotgan jismning holatiga va qanday sharoitda turganligiga ko'ra uning spektri asosan uch turli bo'lishi mumkin: 1) Tutash spektri. 2) Chiziqli nurlanish (emission). 3) yutilish spektri.

Kimyoviy tarkibigi bog'liq bo'lmagan holda cho'g'langan qattiq, suyuq holatdagi jismlar hamda katta bosim va yuqori temperaturadagi ionlashgan gaz tutash spektrni beradi. Bunday xollarda nurlanish barcha to'lqin uzunligida kuzatilib, har bir to'lqin uzunligiga mos nurlanish yasagan spektrof tirqishining tasviri bir biriga tutashib, tutash spektrni beradi.

Gaz holatdagi cho'g'langan modda ayrim to'lqin uzunliklaridagina nurlanib, bu nurlar prizmadan o'tishda turli burchak ostida sinadi va natijada kamera linzasidan o'tgach, turli ranglarda tirkishning alohida-alohida tasvirlarni yasaydi. Kora fonda birgina yorug' chiziqlardan tashkil topgan bunday spektr, chiziqli nurlanish (yoki) emission spektri deyiladi.

Spektrdagi chiziqlarning to'lqin uzunliklariga ko'ra ularni qaysi atomga tegishli ekanligini belgilash mumkin. Spektrning ko'rinadigan qismida yodod atomining talay chiziqlarini (Balmer seriyasiga tegishli $H_{\alpha} - \lambda 6562 \text{ \AA}$, $H_{\beta} - \lambda 4861 \text{ \AA}$, $H_{\gamma} - \lambda 4340 \text{ \AA}$, $H_{\delta} - \lambda 4102 \text{ \AA}$), natriy bug'ining spektrida esa natriyning qo'shni ikki sarik chizig'ini ($\lambda = 5890 \text{ \AA}$ va $\lambda = 5896 \text{ \AA}$) hamda temir bug'ining spektrida minglab temirning chiziqlarini ko'rish mumkin.

Agar tutash spektri beradigan yorug'lik manbaning yo'lga sovuq bug' yoki gaz modda kiritilsa, yutilish spektri hosil bo'lib, bug' yoki gazni tashkil etgan atomlar u cho'g'langan holatida qanday to'lqin uzunliklarida

nurlansa shunday to'liq uzunligidagi nurlarni yutib, tutash spektrining fonida yutilish chiziqlarini hosil qiladi. Masalan cho'g'langan natriy bug'i yuqorida eslatilgan $\lambda = 5890\text{\AA}$ va $\lambda = 5896\text{\AA}$ to'liq uzunliklarida nurlansa, tutash spektri manbai yo'lga kiritilgan sovuq holdagi natriyning bug'i xuddi shu to'liq uzunliklaridagi nurlarni yutib, tutash spektrining bu chiziqlar to'liq uzunlariga mos kelgan joyida ikki qo'shni qora chiziqni hosil qiladi.

Nurlanish va yutilish spektrlari tasmali (polosali) bo'lishi ham mumkin. Xususan molekulyar birikmalarning spektri qator keng tasmalardan iborat bo'lib, bunday tasmalar o'z navbatida bir biriga juda yaqin joylashgan spektral chiziqlardan tashkil topadi. Agar bunday molekulyar birikmalardan gaz yuqori temperaturali va cho'g'langan holatda bo'lsa, u mavhum to'liq uzunliklari intervalidagi nurlanish tasmalarini, aksincha tutash spektri manbai yo'lida sovuq gaz holatida bo'lsa o'sha to'liq uzunliklari intervalidagi yutilish tasmalarini beradi.

Quyosh va yulduzlarning spektri yutilish spektri bo'lib, yutilish chiziqlari, tutash spektrini beruvchi ularning ikki qatlamlari yo'lidagi tashqi atmosfera qatlami tomonidan hosil qilinadi. Shuning uchun ham Quyosh va yulduzlar spektrlarini analizi, ularning atmosfera qatlamlarining kimyoviy tarkibi va fizik tabiatiga doir ma'lumotlarni beradi.

Shuni unutmaslik kerakki, osmon yoritgichlaridan kelayotgan nurlarning er atmosferasi qatlamlaridan ham o'tadi va shuning uchun ham ularning sirtida er atmosferasi atomlari va molekulyar birikmalariga tegishli yutilish chiziqlari paydo bo'ladi. Osmon jismlari spektrida kuzatiladigan Er atmosferasining chiziqlari teluriy chiziqlari deyilib, spektrofotometriya paytida tayanch chiziqlar sifatida ishlatiladi.

Ma'lumki planetalar va ularni yo'ldoshlarining ko'rinishi Quyosh nurlarining ularni sirtidan qaytishi hisobiga bo'ladi va Quyosh nurlari planeta sirtidan qaytishidan oldin va keyin uning atmosferasini kesib o'tadi. SHuning uchun ham planeta va uning yo'ldoshlari spektrida Quyosh spektriga qo'shimcha uning (yoki yo'ldoshining) atmosferasiga tegishli yutilish chiziqlari hosil bo'ladi. Bu yutilish chiziqlarining analizi, planeta atmosferasining kimyoviy tarkibi, bosimi, temperaturasi va boshqa fizik xarakteristikalar haqida ma'lumot beradi.

Spektral analiz bergan eng katta yutuqlardan biri-harakatdagi yoritgichlarning yoki ularni qismlarining Quyosh, Oy, tumanliklar uchun nuriy tezliklarini o'lchashga imkon berishidir. Yoritgichning nuriy tezligi deganda, yoritgichning harakat tezligi vektorining qarash chizig'i bo'yicha tashkil etuvchisi tushiniladi. Harakatdagi manbaning nuriy tezligini o'lchash usuli Dopler tomonidan 1847 yilda ishlab chiqilgan bo'lib, unga ko'ra, nurlanayotgan manbaning qarash chizig'i bo'yicha siljishi, uning spektrida spektral chiziqlarni siljishiga olib keladi. Agar spektral chiziqning siljish kattaligi $\Delta\lambda = \lambda' - \lambda_0$ bo'lsa bu erda (λ_0 -harakatdagi manba ma'lum spektral

chizig'ining to'liq uzunligi, λ_0 -harakatdagi manbaning o'sha chizig'ining o'tirgan to'liq uzunligi) manbaning nuriy tezligi ushbu formuladan topiladi:

$$\Delta\lambda = \frac{v}{c} \cdot \lambda_0 \quad \text{yoki} \quad v = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} \cdot c$$

v -nuriy tezligi $v=3 \cdot 10^8$ m/s — yorug'lik tezligini ifodalaydi. Agar v — manfiy ishora bilan chiqsa, ya'ni $\lambda' < \lambda_0$ (spektrning binafsha tomoniga siljisa) manba kuzatuvchiga v tezlik bilan yaqinlashayotgan, aksincha v musbat ishorali bo'lsa, ya'ni $\lambda' > \lambda_0$ (chiziq spektrning qizil tomoniga siljisa) manba kuzatuvchidan uzoqlashayotgan bo'ladi. Odatda yoritgichning yoki uning qismlarining tezligi $v \ll c$ bo'lganidan, spektral chiziqning siljishi $-\Delta\lambda$ ham juda kichik bo'ladi. SHuning uchun bunday siljishni vizual o'lchash juda murakkab bo'lib, Dopler printsipidan, asosan spektrofotometriya ishga tushgandan so'ng foydalanish imkoni tug'ildi. Birinchi bo'lib Dopler printsipini rus olimi A.A. Belopolskiy tomonidan 1900 yili Pulkovo observatoriyasida muvaffaqiyatli sinab ko'rildi. Shu tufayli ba'zan bu effekt astronomiyada, Dopler-Belopolskiy effekti ham deb yuritiladi. Dopler printsipi astrofizikada juda katta rol uynab, yoritgichlarning (yoki ularning ayrim qismlari) harakatini o'rganishdan tashqari, nurlanuvchi osmon jismlarining o'z o'qi atrofida yoki markaziy boshqa bir jism atrofida aylanishlarini ham aniqlashga imkon beradi. Xususan urning Quyosh atrofida va o'z o'qi atrofida aylanishlarini ham Dopler printsipi asosida oson aniqlash mumkin. Ma'lumki Er Quyosh atrofida o'rtacha 30 km/s tezlik bilan harakatlanib, harakat yo'nalishini fazoda o'zgartirib boradi. Natijada ma'lum momentda uning harakati yo'nalgan ekliptika tekisligida yotuvchi yulduzlar spektrida chiziqlar binafsha tomonga $\Delta\lambda$ kattalikka siljigan holda ko'rinib, uning kattaligi ushbu ifodadan topiladi:

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \frac{v}{c} = \frac{30 \cdot 10^3 \text{ cm/s}}{3 \cdot 10^{10} \text{ cm/s}} = 10^{-4}$$

bu yerdan $\Delta\lambda = \lambda_0 \cdot 10^{-4}$ bo'ladi.

Bu yo'nalishga qarama-qarshi tomondagi yulduzlarning spektridagi chiziqlar esa, aksincha qizil tomonga shunday kattalikka siljigan holda ko'rinadilar. Quyoshning ekvatori zonasida, uning aylanishi tufayli chiziqli tezligi 2 km/s bo'lib, ekvatorining sharqiy va g'arbiy qismlarining spektrlarida chiziqlarning siljishi, mos ravishda, $\pm 0,035\text{\AA}$ kattalikni beradi.

V-BOB. QUYOSH VA UNING FIZIK XUSUSIYATLARI

5.1-§. Quyosh haqida umumiy ma'lumot.

Quyosh - bizga juda yaqin bo'lgani sababli, xususiyatlari, boshqa yulduzlarga qaraganda, batafsil va yaxshiroq o'rganilgan tipik yulduzdir. Bu bobda biz Quyoshga tegishli ma'lumotlarni nafakat qarab chiqamiz, shu bilan birga umuman yulduzlarga xos bo'lgan ma'lumotlarini o'rganib chiqamiz. Bu keyinchalik yulduzlarning fizikasini o'rganishda juda az qotadi.

Quyosh bizga aniq qirrali doira bo'lib ko'rinadi. Uning o'rtacha ko'rinma diametri 32', chiziqli radiusi $R = 696000$ km, hajmi $V = 1,41 \cdot 10^{33}$ sm³, massasi $M = 1,99 \cdot 10^{33}$ gr, o'rtacha zichligi $\rho = 1,41$ gr/sm³, tortish kuchi tezlanishi $g = 274$ sm/sek². Markazidagi temperatura $T = 1,5 \cdot 10^7$ K, sirtida esa rtacha $T = 6000$ K.

Quyoshning muhim kattaliklaridan biri - uning nurlanishining aniq qiymatidir. Nurlanish oqimini odatda Quyosh doimiyliги bilan ifodalashadi. Bu kattalik yerdan o'rtacha masofadagi 1 sm² yuzadan 1 minut davomida perpendekulyar holatda o'tadigan nurlanishning to'liq energiya qiymatiga tengdir. Bu qiymat katta aniqlikda ma'lum:

$$Q = 1,95 \text{ kal/sm}^2 \text{ min} = 1,36 \cdot 10^6 \text{ erg/sm}^2 \text{ sek} = 1360 \text{ vt/m}^2.$$

Bu qiymatni radiusi 1 a.b.ga teng sferaning yuzasiga ko'paytirsak Quyoshning to'liq yorig'ligini topamiz - $3,8 \cdot 10^{33}$ erg/sek. Quyoshning 1 sm² yuzasi $6,28 \cdot 10^{10}$ erg/sm²*sek energiyani nurlaydi.

Quyosh haroratini aniqlashda har xil usullar farqlicha qiymatlarni berishadi. Buni umumiyflashgan holda quydagi jadvalda ko'rish mumkin:

Haroratni har xil usullar bilan aniqlash natijalari		
Usul	Natija	Parametrlar nomi
Nurlanish maksimumi bo'yicha (Vin qonuni)	6750°	-
Nurlanishning oqimi bo'yicha (Stefan - Boltsman qonuni)	5770°	Effektiv harorat
Monoxramatik nurlanishning maksimumi bo'yicha (Plan formulasi):		Yorqinlik harorati
$\lambda = 1000 \text{ Å}$	4500°	
$\lambda = 2500 \text{ Å}$	5000°	
$\lambda = 5500 \text{ Å}$	6400°	
$\lambda = 1 \text{ m}$	1000000°	Rangli
Intervaldagi nurlanish taqsimoti bo'yicha		

$\lambda \lambda 4700-5400 \text{ Å}$	6500°	harorat
$\lambda \lambda 4300-4700 \text{ Å}$	8000°	

5.1-jadval.

Bu natijalardan quyidagi xulosalar qilish mumkin:

1. Quyoshning nurlanishi absolyut qora jismning nurlanishidan farq qiladi. Bo'lmasam hamma haroratlar bir hil bo'lar edi.
2. Quyosh moddasining harorati chuqurlikga bog'liq. Radio, ultrabinafsha, optik nurlanishlar chuqurlik bo'yicha o'zgaradi.
3. Quyosh moddasining katta qismi yuqori ionlashgan bo'ladi. $T = 6000^\circ$ da metallar ionlashadi, 15000° da eng ko'p bo'lgan vodorod. Demak quyoshning fizik holati plazmadir.

Plazma - materiyaning to'rtinchi holati hisolanib, undagi temperatura shu darajada yuqoriki, moda to'la ionlashgan bo'ladi. Ushbu sharsimon plazma aylanish o'qiga ega bo'lib, unig ekvator qismidagi moddaning burchakli aylanishi eng yuqori. Bunaqa aylanish - **differentzial aylanish** deyiladi. Quyosh sirtidagi dog'lar harakatini o'rganish yordamida uning shu aylanish tezligi topilgan. Xususan, bir marta to'la aylanib chiqish qiymati ekvatorida 25 sutkaga teng. Uning qutbi yaqinida esa 30 sutkadir. Umumiy xolda quyoshning o'rtacha burchak tezligi $\omega = 14,4 - 2,7 \sin B$ Bu erda B - geliografik kenglik. Yerning Quyosh atrofida harakati tufayli uning aylanishi Erdagilar uchun biroz sekinroq bo'lib tuyiladi, aniqlash ekvatoridagi aylanish davri 27 sutkaga, qutbda esa 32 sutkaga teng.

Differentzial aylanish tufayli geliografik meridiani faqatgina $V = \pm 16^\circ$ geliografik kenglik bilan bog'langan. Shu kenglik uchun Quyosh sirtining siderik aylanish davri 25,38 sutkaga va sinodik davri 27,28 suukaga tengdir. Rasm 122 da quyosh sirtidagi boshlang'ich paytida va bir aylanadan so'ng dog'larning nisbiy joylanishi ko'rsatilgan.

Quyosh markazidagi ulkan haroratning faqat bitta manbasi bo'lishi mumkin - termoyadro reaksiyalaridir. Bunda vodorod moddasi yonib kimyoviy reaksiyalar natijasida og'ir elementlar hosil bo'ladi. Quyoshning kimyoviy tarkibini o'rganishda uning spektri yordam beradi. Ko'rinma diapazonda quyoshning nurlanishi uzliksiz spektriga ega. Uning fonida Fraunhofer nomli chiziqlar - bir necha o'n ming qora yutilish chiziqlari ko'rinadi. Uzliksiz spektrning maksimumi $4300-5000 \text{ Å}$ to'lqin uzunliklaridagi to'g'ri keladi (spektrning ko'k-yashil qismi) va ikkala tomonga hiralashib boradi. Ushbu spektr qisqa va uzun to'lqinli tomonlarga tarqalib boradi. 2000 Å to'lqin uzunligida quyosh spektrining ko'rinishi optik diapazondagiga juda o'xshaydi. Ammo yanayam qisqa to'lqin uzunliklarida spektr keskin o'zgaradi, ya'ni uzliksiz spektrning intensivligi susayib, Fraunhofer chiziqlari yorqin nurlanish (emission) chiziqlari bilan almashadi.

Spektrning infraqizil tomoni 1500 Å gacha Er atmosferasi tomonidan qisman yutiladi. Bu erda suv bo'g'i, kislorod va uglerod molekularining polosalari ko'rinadi. Undan kattaroq to'lqin uzunliklari Yer atmosferasida mutloq yutiladi va Quyosh spektrini faqatgina atmosferadan tashqari kuzatuvlardan olsa bo'ladi. quyoshning radionurlanishi ham qiziq. To'lqin uzunligi oshishi bilan intensivligi kamayishi 106 gradusli absolyut qora jismning nurlanishiga o'xshaydi. Bundan tashqari, to'lqin uzunligi oshishi bilan quyoshning radionurlanishi o'zgruvchanlikga ega bo'ladi. Bu bilan u optik diapazondan keskin faq qiladi.

Quyosh spektrining muhim jihatlaridan biri - 1600 Å dan to infraqizil sohasigacha Fraunhofer yutilish chiziqlari mavjudligi. Bu chiziqlar siyrak gazning nurlanish chiziqlariga ustma-ust tushishadi. Demak, bu chiziqlar quyosh atmosferasining yuqori, demak sovuqroq qismlarida vujudga kelishadi.

Ularning intensivligi bo'yicha quyosh atmosferasining holatini o'rganishimiz mumkin. Quyosh spektrining eng kuchli chizig'i - vodorodning rezonans $L\alpha$ chizig'i (Layman-alfa). To'lqin uzunligi 1216 Å (ultrabinafsha sohasi). Ko'rinma diapazonda eng yorqin chiziqlar - ionlashgan kaltsiynning N va K rezonans chiziqlari. Ulardan keyin intensivlik bo'yicha vodorodning Balmer seriyasi chiziqlari - $H\alpha$, $H\beta$, $H\gamma$, natriyning rezonans chiziqlari - D_1 va D_2 , magniy, temir, titan va boshqa kimyoviy moddalarning chiziqlari ko'rinadi. Bu

chiziqlarning mavjudligi ularga to'g'ri keladigan kimyoviy moddalarning quyoshning tarkibida borligini tasdiqlaydi. Natijalarga ko'ra quyoshning moddasi boshqa kosmik jismlarga o'xshash (sayyoralaridan tashqari) kimyoviy tarkibga ega.

Moddalardan eng ko'pi bu vodorod. Atomlar soni bo'yicha u boshqalardan 10 marta ko'p va Quyosh massasining 70% tashkid etadi. Undan keyin neliy keladi - quyosh massasining 29%. qolgan elementlar 1% tashkil etishadi. Masalan metall atomlarining soni vodorod atomlaridan 10000 kam.

5.2-§. Quyoshning ichki tuzilishi. Uning yadroviy energiya manbai. Quyosh aktivligi va uning Yerga ta'siri

Chuqurlik bo'ylab Quyosh haroratining oshishi bilan uning boshqa fizik xarakteristikalar (bosim, zichlik, massa va h.z.) ham o'zgarib boradi. Quyoshning har bir ichki nuqtasida gidrostatik muvozanat holati saqlanishi lozim. Bu degani, elementar qatlamlarga tasr etayotgan bosim gravitatsion tortish kuchi bilan tenglashishi kerak.

$$P_1 - P_2 = \Delta P = \rho g H \quad (1)$$

Bu erda ρ - qatlamning o'rtacha zichligi, H - qalinligi, g - tortish kuchi tezlanishi.

Quyoshning fizik holatlari bo'yicha uning ichki qismlarini bir necha sohalarga bo'lishimiz mumkin (5 40bet rasmda Quyosh zonalarining sxemasi berilgan):

1. Energiya chiqarish (termoyadro) zonasi
2. Qayta nurlanish zonasi
3. Konvektiv zonasi
4. Fotosfera
5. Xromosfera
6. Toj

Quyidagi jadvalda ularning fizik xarakteristikalar berilgan:

2000 yil natijalarga asoslangan Quyosh ichki tuzilishining modeli			
Markazdan masofa, $R/R_\odot$	Harorat T, K	Bosim $P, \text{Па}$	Zichlik $\rho, \text{г/см}^3$
Termoyadro zonasi			
0	$1,55 \cdot 10^7$	$2,3 \cdot 10^{16}$	149
0,1	$1,31 \cdot 10^7$	$1,3 \cdot 10^{16}$	87,4
0,2	$9,42 \cdot 10^6$	$4,4 \cdot 10^{15}$	35,3
Qayta nurlash zonasi			
0,3	$6,81 \cdot 10^6$	$1,1 \cdot 10^{15}$	12,1
0,4	$5,14 \cdot 10^6$	$2,7 \cdot 10^{14}$	3,94
0,5	$3,98 \cdot 10^6$	$7,0 \cdot 10^{13}$	1,32
0,6	$3,13 \cdot 10^6$	$2,1 \cdot 10^{13}$	0,50
Konvektiv zona			
0,7	$2,34 \cdot 10^6$	$6,4 \cdot 10^{12}$	0,20
0,8	$1,38 \cdot 10^6$	$1,6 \cdot 10^{12}$	0,09
0,9	$6,02 \cdot 10^5$	$2,0 \cdot 10^{11}$	0,02
0,98	$9,96 \cdot 10^4$	$1,7 \cdot 10^9$	0,001
Fotosfera			
1,00	$4,56 \cdot 10^3$	$1,2 \cdot 10^4$	$0,74 \cdot 10^{-7}$

5.2- jadval.

Bu jadvalni boshqacha Quyoshning modeli deb aytsa bo'ladi. Jadvaldan ko'rinib turibdiki Quyoshning markazida xarorat 10^6 darajadan katta, bosim esa bir necha yuz milliard atmosfera. Bu sharoitlarda atomlar juda katta, sekundiga bir necha yuz kilometr tezliklar bilan xarkatlanishadi. Katta zichlik tufayli atomlararo to'qnashishlar uzliksiz sodir bo'lib turadi. Bu to'qnashishlar tufayli yadro reaksiyalari yuzaga keladi.

Quyoshda termoyadroreaktsiyalarini ikki turi rol o'ynaydi. Birinchisi - **proton-proton** reaksiyalari. Bu reaksiya natijasida vodorodning 4 atomidan 1 geliyning atomi hosil bo'ladi. Oraliq reaksiyalarda og'ir vodorod (deyteriy) atomi va geoiyning izotopi vujudga keladi. Ikkinchisi - **uglerodli sikl**. Bu erda ham 4 protondan 1 geliy atomi hosil bo'ladi. Ammo jarayon murakkabroq va bu erda uglerod katalizator roliga ishtirok etadi. Ikkala reaksiyalarda eng muhim bu **massa defekti**, ya'ni geliyning 1 atomi massasi vodorodning 4 atomidan taxminan 1%ga kam. Mana shu massalarning ayirmasi Quyoshda ulgan energiyaning hosil bo'lishiga sababi bo'ladi.

Quyoshning markazida harorat va bosim eng yuqori bo'lgani uchun u erda termoyadro reaksiyalari juda intensiv kechadi. Reaksiyalarning ikkala turi bir hil ravishda kechadi. Markazdan uzoqlashgan sari harorat va bosim kamayadi, uglerodli sikl ishdan chiqadi va 0,2-0,3 radiusgacha faqat proton-proton reaksiyalari rol o'ynaydi.

Masofa 0,3 radiusdan boshlab harorat 5 million gradusdan, bosim esa 10 milliard atmosferdan kamayadi va ushbu sharoitda termoyadro reaksiyalari to'htaydi. Bu erda energiya qaytanurlanish bilan o'tkaziladi. Buning mexanizmi quyidagicha - atom pastdan kelgan yuqori energiyali kvantlarni yutadi, keyin, vaqt o'tib, ularni pastroq energiyali kvantar bilan qayta nurlaydi. Natijada "qattiq" kvanlarning bo'linishi sodir bo'ladi. Gamma o'rniga rentgen nurlanish yuzaga keladi, rentgen kvantlari o'z navbatida ultrabinafshaga aylanai, ular ohirida yuqori qatlamlarda optik va issiqlik kvanlarida qayta nurlanishadi. Bunaqa sharoitda muhit **nuriy muvozanat** holatida bo'ladi va qayta nurlash zonasi Quyoshning 0,3 radiusidan 0,7gacha tarqaladi.

Undan yuqori **konvektiv** zonasi joylashgan. Bu erda nur o'tkazilishida moddaning o'zi ishtirok etadi. Undan keyin Quyosh atmosferasining pastki qatlami (fotosfera) keladi. Uning harorati eng mini mal 4200K gacha tushib, yana ko'tariladi. Bu holatda vodorod neytral bo'ladi, metallar esa ionlashgan.

Konvektiv zonasi bilan Quyoshdagi qiziq kuzatuv hodisasi bog'liq. Quyoshning yaxshi suratlarida uning mayda strukturasi ko'rinadi. Bu zich joylashgan bulutlarni yoki sochilgan gurunchni eslatadi. Yoriq shakillar **granulalar** deyiladi, hodisa esa granulyatsiya. Ularning o'lchamlari yoy 1" yoki 700 km. Har bir granula o'rtacha 5-10 minut "yashaydi", uning o'rnida yangisi paydo bo'ladi. Granulalar bir biridan qora oraliqlar bilan ajratilgan.

Granulalar ichida 1-2 km/sek tezlik bilan modda aylanishi sodir bo'ladi. Markazda ko'tarilib, yonlaridan tushadi. Pastki qatlamlarda hosil bo'lib, tepaga ko'tarilishadi va fotosferaning pastqi qatlamlarida yo'q bo'lib ketishadi. Granulyatsiya bu konvektiv zonasining ko'rinishidir. Konveksiyaning sabablaridan biri, u erdagi harorat shunchalik kattaki nur o'tkazish mexanizmi bor energiyani yuqoriga uzatishga ulgirmaydi va energiya o'tkazishda moddaning o'zi ishtirok etishga majbur. Granulalar yuqoriga ko'tarilib, sovuq fotosferaga uchrashadi va yo'qolib ketishadi.

Konvektiv zonasining yuqorisida quyoshning atmosferasi boshlanadi. Uning eng paski qatlami bu **fotosfera**. Fotosfera deb quyoshning ko'rinma nurlanishi yoki uzliksiz spektri hosil bo'ladigan qatlami deyiladi. Fotosfera bevosita ko'rinadi. Shunday qilib fotosferada bizga keladigan energiya nurlanadi.

Fotosferaning xususiyatlaridan biri - diskni qirrasiga qarab qorayishi. Bu hodisani fotosferada harorat chuqurlik sari oshishi bilan tushuntirsa bo'ladi. quyosh diskining har bir nuqtasini θ burchak yuilan ifodalasa bo'ladi. θ bu ko'rish o'qi va ko'rilyotgan nuqtadagi normal orasidagi burchak. Diskning markazda $\theta = 0^\circ$ va ko'rish o'qi normal bilan ustma-ust tushadi. Diskning qirrasida esa $\theta = 90^\circ$ va ko'rish o'qi normalga perpendekulyar bo'ladi. Ionlashgan gazning maksimal nurlanishi $\tau \approx 1$ qatlamida hosil bo'ladi. Agar $\theta > 0^\circ$ bo'lsa optik chuqurlik fotosferaning yuqoriroq, arorati kamroq qatlamlariga to'g'ri keladi. Shu sababli chetda nurlanish intensivligi kamayadi.

Disk bo'yicha aniq o'lchalgan intensivlik taqsimoti chuqurlik bilan Quyosh parametrlarini (harorat, bosim, zichlik, qalinlik) o'zgarishini o'rganishda kerak bo'ladi. Masalan, disk bo'yicha intensivlikni o'zgarishi quyidagi formula bilan ifodalasa bo'ladi:

$$B(\theta) = B_0(1 - u + u \cos \theta) \quad (2)$$

Bu yerda $B(\theta)$ - θ burchak ostidagi nuqtaning yorqinligi, B_0 - disk markazidagi yorqinlik, u - to'lqin uzunligiga bog'liq koeffitsiyent (qizil tomonta kamroq, ko'k tomonga ko'proq). $\lambda = 5000\text{\AA}$ uchun $u = 0,65$, $B_0 = 4,6 \cdot 10^3 \text{ Br}/(\text{m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \text{\AA})$. Fotosferani, faraz qilib, yupqa birjinsli qatlamlarga bo'lsak, unda $\tau = \cos \theta$ deyishimiz mumkin. O'shanda yorqinlikning chuqurlik bo'yicha o'zgarishini topishimiz mumkin:

$$B(\tau) = B_0(1 - u + u \cdot \tau) \quad (3)$$

(2) va (3) formulalarni solishtirsak Eddington-Barbe tenglamasiga kelamiz:

(3)

$$B_\lambda(\theta) \approx B_\lambda[T(\lambda \tau = \cos \theta)] \quad (4)$$

bu degani $\tau = \cos \theta$ optik chuqurlikda nurlanish $B(\tau)$ Plank funksiyasi bilan ifodalanadi.

Fotosferaning chuqurligini hisoblash uchun (1) formuldan foydalanamiz. U erdagi kattalikni bir xil zichlikli qatlamni qalinligi deyishimiz mumkin yoki bir jinsli atmosferaning balandligi. (1) ifodani quyidagicha yozishimiz mumkin:

$$\mu g_0 H = RT \quad (5)$$

bu yerda μ - moddaning molekulyar massasi, R - Stefan-Boltsman doimiysi. Quyosh moddasi asosan neytral vodoroddan tashkil etishini e'tiborga olsak $\mu \approx 1$, $T = 6000^\circ$ va $g_0 = 2,7 \cdot 10^4$ sm/sek², bunda

$$H = \frac{RT}{\mu g_0} \approx 180 \text{ km}$$

Demak fotosferadagi zichlikning sezilarli o'zgarishi bir necha yuz kilometr qalinlikda sodir bo'ladi. Uning qiymatlari pastki qatlamlarda $5 \cdot 10^{-7}$ gr/sm³ dan to yuqori qatlamlarda $0,1 \cdot 10^{-7}$ gr/sm³ gacha o'zgaradi.

Quyoshdan uzoqlashgan sari moddasining zichligi siyraklashadi. Fotosferaning yuqori chegarasi $\rho = 10^{-8}$ gr/sm³ zichlik bilan belgilanadi. U erdagi harorat quyoshdagi eng past qiymatlarda bo'ladi 4400K-4200 K. Undan yuqori harorat yana ko'tariladi - bir necha ming Kelvingacha, vodorod va geliy ionlanishadi. Quyosh atmosferasining shu qismi **xromosfera** deyiladi. Xromosferaning yorqinligi fotosferanikidan ~ 1000 marta kam. Shuning uchun uni faqat quyosh tutilishi paytida kuzatish mumkin. Bu paytda Quyosh atrofida xromosferaning yorqin pushti yoyi ko'rinadi. Uning qalinligi 10" yoki bir necha ming kilometr. Xromosfera yorqin emission spektriga ega. Bu spektr ko'rinishidan Quyoshnikiga o'xshaydi, ammo yutilish chiziqlari nurlanish chiziqlariga almashtirilgan va uzliksiz spektri yo'q.

Undan tashqari ionlashgan moddalarning chiziqlari fotosferanikidan kuchliroq. Geliyning chiziqlari ham juda yorug' (birinchi bo'lib geliy xromosferada topilgan), bu u erda katta haroratning dalilidir.

Spektrdagi eng kuchli bu ionlashgan kaltsiy vodorod va geliylarning chiziqlaridir. Xromosferada, fotosferadagidan aniqroq, notekis struktura yaqqol ko'rinadi. Shu strukturaning eng kichik elementlari spikulalar deyiladi. Ularni diskning chekkasida yahshi ko'rish mumkin. Ular uzunchoq, radial tomonga cho'zilgan bo'lishadi. Uzunligi bir necha ming kilometr, qalinligi tahminan bir ming kilometr. Spikulalar sekundiga bir necha o'ng kilometr tezlik bilan xromosferadan yuqoriga ko'tarilib, u erda yo'q bo'lib ketishadi. Shunday qilib, spikulalar orqali xromosfera va toj orasida modda almashuvi sodir bo'ladi. Spikulalar o'z navbatida yanaham yirikroq xromosfer to'ri nomli strukturani tashkil qilishadi. Bu to'r vodorod va kaltsiy filtrogrammalarida yahshi ko'rinadi. Bu to'r 30-60 ming kilometrli uyalaridan iborat. Xromosfer to'rning qo'rinishi har hil filtrlarda turlicha, bu u erdagi moddaning harakat yo'nalishiga va tezligiga bog'liq. Filtrogrammalarni taqqoslash qiyalar ichida modda ko'tarilib, chegaralarida pasga tushur ekanligi ma'lum bo'ldi. Bunaqa harakat supergranulalanish deyilgan, chunki bu yirik masshtabli konvektsiya harakatlarining oqibitidir.

Quyosh atmosferasining yuqori qatlamlarida, zichlik 10^{-14} - 10^{-15} gr/sm³ gacha (10^9 at/sm³) tushgan joyda, haroratning yana bir keskin, bir million K ga, ko'tarilishi sodir bo'ladi. Bu joy fotosferadan 2-3 ming kilometr

balandlikda bo'lib ($3 \cdot 10^{-3} R_0$), u erdan quyoshning eng yuqori va siyrak qatlami - Quyosh toji boshlanadi. Uning yorqinligi kunduzni osmonnikidan bir necha yuz marta kam, fotosferanikida esa million marta. Shu sababli tojni ko'z bilan faqat to'la quyosh tutilishi paytida ko'rish mumkin. Kuzatuvlarni esa koronograflar orqali oborish mumkin.

Toj aniq chegaralarga ega emas va uning shakli noto'g'ri bo'lib, vaqti vaqti bilan o'zgarib turadi. Tojning yorqinligi quyosh radiusi masofasida bir necha o'n marta kamayadi. Yorqinlikning $e \approx 2,7$ marta kamayishi 10^{10} sm, yoki $R_0/7$ masofada sodir bo'ladi. quyosh tojining $0,2 \div 0,3$ radius masofada joylashgan eng yorqin qismini ichki toj, qolganini tashqi toj desa bo'ladi. Toj strukturasining muhim xususiyatlaridan biri bu uni tashkid etuvchi nurlardir. Nurlar uzunligi har hil bo'ladi - bir encha o'n va unda ko'p quyosh radiusi. Ichki toj ham har hil shakillarni oladi yoylar, shlemlar, bulutlar.

Tojning spektri muhim xususiyatlarga ega. Uning asosi hira uzliksiz spektr, energiya taqsimoti fotosferanikiga o'xshaydi. Uning fonida yorqin emission chiziqlar mavjud. Ular uzoqlashgan sari hiralashadi. Energiyaning bunaqa taqsimoti tojning nurlanishi fotosfera nurlanishining tarqatish oqibatligini tasdiqlaydi. Tojning nurlanishi 50% gacha qutblangan. Bu orqali tojning tabiatini o'rganish mumkin. Kuchli qutblanish faqat erkin elektronlar sabab bo'lishi mumkin. Qutblanish maksimumi $0,5 R_0$ masofaga to'g'ri keladi. Keyin qutblanish susayadi. Natijada **fraungofer toji** hosil bo'ladi. Bu toj asli tojga aloqasi yo'q. Aslida bu quyosh nurlanishini sayyoralar aro changda tarqalishidir.

Tojning har bir nuqtasida yorqinlik elektronlar soniga proporsional. Bitta elektron 1 sm^2 yuzaga tushgan energiyaning 10^{-24} qismini tarqatadi. 1 sm^3 hajmda esa elektronlar soni 10^8 bo'ladi. Erkin elektronlarning paydo bo'lish sababi bitta - moddaning ionlanishi. Lekin tojda vodorod yo'q, chunki spektrda uning chiziqlari ko'rinmayapti, demak elektronlarning manbasi oddiy elementlar, ammo juda katta ionlanish darajasida - FeXIV, FeX, FeXI, FeII, NiXIII, NiXV, CaXII, CaXV, ArX dva h.z. Element yonidagi rim soni shu atomdan uzulgan elektronlar sonini bildiradi.

Toj spektri chiziqlarining ko'pchiligi taqiqlangan. Ularning hosil bo'lishining sababi atomlarning elektronlar bilan zarblar. Bu paytda elektronlarning energiyasi bir necha yuz elektron-voltni tashkil etishi kerak. Elektronlar bunaqa energiyalarga harorat million gradusdan kam bo'lmagan sharoitda erishishadi. Demak toj juda siyraklashgan, harorati tahminan bir million gradusli plazma.

Quyidagi 3-jadvalda Quyosh atmosferasini modellash bo'yicha olingan ba'zi ma'lumotlar berilgan:

Quyosh atmosferasining modeli					
Optik chuqurlik τ_{5000}	Harorat T, K	Zarralar konsentratsiyasi i $lg(n_H+n_e), cm^{-3}$	Elektronlar konsentratsiyasi i $lg n_e, cm^{-3}$	Zichlik $lg \rho$, g/cm^3	Balandlik h, km
Fotosfera					
20	9 200	17,2	15,5	-6,4	-88
10	8 650	17,2	15,3	-6,4	-72
5	8 100	17,2	14,9	-6,3	-56
2	7 120	17,2	14,3	-6,4	-27
1,0	6 430	17,2	13,8	-6,5	0
0,5	5 920	17,1	13,4	-6,5	36
0,2	5 410	17,0	12,9	-6,7	91
0,1	5 140	16,8	12,7	-6,8	136
10^{-2}	4 640	16,3	12,1	-7,4	278
10^{-3}	4 370	15,8	11,6	-7,9	420
Harorat minimumi 10^{-4}	4 180	15,2	11,0	-8,4	560
Xromosfer					
a					
10^{-5}	5 280	14,0	10,9	-9,6	840
10^{-6}	7 150	11,6	10,8	-12,0	1 580
10^{-7}	8 400	11,1	10,5	-12,5	1 900
10^{-8}	9 000	11,0	10,5	-12,6	2 000
	11000	10,8	10,5	-12,8	2 200
	10000	10,1	9,8	-13,5	2 300
0					
	47000	9,3	9,0	-14,3	2 400
0					
Toj	$1,2 \cdot 10^6$	8,1	7,8	-15,5	140000

5.3-jadval.

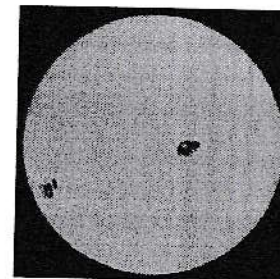
Vahti sari Quyosh atmosferasida tez o'zgaradigan faol sohalari paydo bo'lib turishadi. Ularning xususiyatlari va tuzilishi atrofida keskin farq qiladi. Quyosh faolligining fotosfera, xromosfera va tojdagi ko'rinishi juda farq qiladi. Lekin ularning sababi bitta - magnit maydonining beqarorligi. Uning kuchayishi yoki susayishi har doim aktiv sohalarda vujudga kelishi bilan bog'liq. Quyoshning faol jarayonlar bo'layotgan qismini faol sohasi deyishadi. Ularni

umumiy ko'rinishi (39-rasmda) ko'rishimiz mumkin. Faol sohalarning bir necha turi mavjud:

1. Quyosh dog'lari
2. Mash'allar
3. Flokulalar
4. Xromosferadagi chaqnashlar
5. Protuberanetslar
6. Tojning aktiv sohalari

Quyosh dog'lari. Quyosh aktivligining eng ma'lum bo'lgan va yaxshi kuzatiladigan ko'rinishlaridan biri bu Quyosh dog'lari. Ular odatda guruhlar bo'lib joylanishadi. Quyosh dog'larining guruhlarini paydo bo'lishi faol sohalarni vujudga kelayotganini muhim alomati.

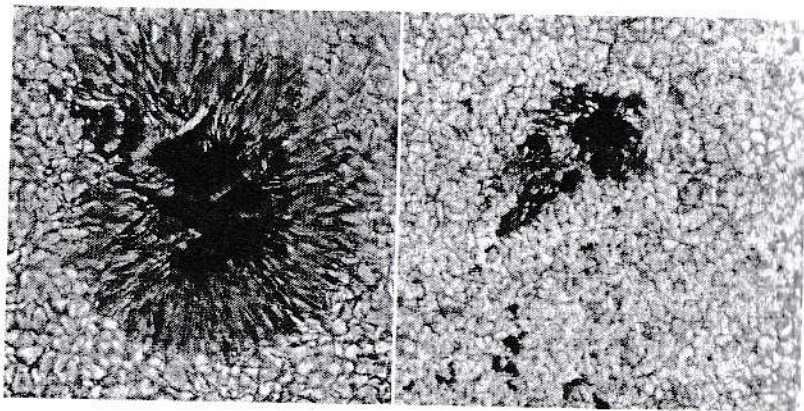
Dog' avvalom granular orasidan mayda kovak shaklida paydo bo'ladi. Bir sutkadan keyin kovak aniq chegarali qoramtir dog'ga aylanadi. Uning diametri bir necha o'n ming kilometr gacha oshadi. Shu bilan birga magnit maydonining kuchlanishi oshadi, katta dog'larning markazida bir necha ming ersted gacha boradi.



5.1-rasm. Quyosh dog'lari

Dog'lar odatda ikkita katta dog'lar - etakchi (g'arbda) va intiluvchi (sharqda) atrofida guruhlanishadi. Bu ikkala dog'larning va ular atrofida dog'larning magnit maydonlari qarama qarshi qutblanishga ega, shuning uchun bunaqa guruhlarini bipolyar deyishadi. Katta dog' paydo bo'lishidan uch-to'rt sutka o'tgach uning atrofida sal yorug'roq yarimsoya paydo bo'ladi. Dog'ning markaziy qismi soya deb ataladi. Vaqt o'tib dog'lar guruhi egallab turgan yuzasi kattalashib boradi va o'ninchi kuni maksimal qiymatga ega bo'ladi. Bundan keyin dog'lar asta sekinlik bilan kichiklashib, yo'qolib borishadi. Avval eng kichiklari, keyin, parchalanib, intiluvchi dog'lar.

Umuman bu jarayon ikki oygacha cho'ziladi, biroq ayrim guruhlar barcha pog'onalardan o'tmay, avvalroq yo'q bo'lib ketishi mumkin.



5.2-rasm. Quyosh dog'larining soya va yarimsoyali sohalari

Fotosferaning juda katta yorug'ligi sababli markaziy dog' (soya) qora bo'lib tuyiladi. Bu nisbiy qoralik. Aslida dog'ning yorqinligi atigi o'n marta kichkina, soyaniki esa fotosferaning 0,75 qismini tashkil qiladi. Stefan-Boltsman qonuniga asosan dog'ning harorati fotosfera haroratidan 2-2,5 ming K kichkina degani.

Dog'dagi haroratni pasayishi magnit maydoni ta'iri bilan tushuntiriladi. Magnit maydoni kuchaygan paytda moddaning ko'ndalang harakatiga yo'l bermaydi, shu sababli fotosferaning moddasi kuchlanish chiziqlari bo'ylab harakatlanadi. Natijada dog'ning pastida ichki qatlamlardan energiyani olib keluvchi mdda sirkulyatsiyasi susayadi va shunday qilib harorat pasayadi.

Mash'allar. Fotosferaning g'alayonlanmagan qismlarida kuchlanishi 1 erstedga teng umumiy magnit maydoni mavjud. Faol sohalarda esa magnit maydonning kuchlanishi bir necha yuzdan ming martagacha oshishi mumkin. Magnit maydoni nisbatan kichkina kuchlayishi ($10 \div 100$ ersted) mash'al nomli yorqin sohani paydo bo'lishiga olib keladi. Ular Quyosh diskining ancha joyini egallab turishadi. Ular ingichka tolali strukturaga ega va hilma xil mash'al granulalari - egrichiziqlar, yorqin nuqtalar va bog'lamalardan iborat.

Mash'allar asosan dog'lar atrofida ko'rinadi. Ba'zi paytlarda ular dog'larsiz ko'rinishi mumkin, u holda mash'allar dog'larni paydo bo'lishi alomati yoki dog'lanish jarayoning qoldig'i bo'lishi mumkin.

Eng aniq holda mash'allar quyosh diskining chetida ko'rinib (yorqinligi fotosferanikidan 20% katta), markazda esa ular deyarli sezilmaydi. Bundan mash'al harorati fotosferadan 200-300 K katta va undan sal yuqoriroq turadi deb hulosa qilish mumkin.

Mash'alning ham kelib chiqishi magnit maydonning xususiyatlariga bog'liq. Katta kuchlanishli magnit maydonida modda ko'ndalang harakat qilolmay, faqat kuchlanish chiziqlari bo'ylab bo'lishi mumkin. Mash'aldagi kuchlanish ko'ndalang harakatni mutloq to'htatib qo'ymaydi, u faqat xotik harakatni tartibga soladi. Bu konvektsiya jarayoniga yordam beradi va issiq gazlar yanada yuqoriroq ko'tarilishi mumkin. Shunday qilib mash'alning paydo bo'lishi konvektsiyaning kuchayishi bilan bog'liq.

Mash'allar nisbatan barqaror tuzilmalar. Ular fotosfera yuzasini katta qismini egallab, sezilarli o'zgarishlarsiz bir necha hafta, hattoki oylar mavjud bo'lishi mumkin.

Flokulalar. Xromosfera dolar va mash'allar ustida o'z yorqinligini oshiradi. Uni ustiga g'alayonlangan xromosferaning kontrasti balandlik sari oshib boradi. vodorodning $L\alpha$, ionlashgan kaltsiyning K, vodorodning $H\alpha$ chiziqlarida va oq nurlarda olingan quyoshning suratlari ko'rsatilgan. Birinchi uchta surat xromosferaning 2300, 1200-1700 va 1800-2000 kilometr balandlikda joylashgan qatlamlarga to'g'ri keladi. Suratlarda ko'rinayotgan va fotosferadagi mash'allar bilan ustma ust tushadigan yorqin dog'lar **flokulalar** deyiladi.

Flokulalar haroratini aniqlovchi ma'lum bir usul yo'q. Stefan-Boltsman qonunini yoki Plank formulasini ishlatib bo'lmaydi, chunki xromosferada uzliksiz spektr ko'rinmaydi. Shu sababli flokulalarda yorqinlik va harorat orasida juda murakkab bog'lanish mavjud.

Flokulalarning o'ta yorqinligini u erda xromosferaning harorati o'zgarmas holda moddaning zichlanishi 5-6 marta oshishi bilan tushuntirsa bo'ladi.

Xromosfera chaqnashlari. Xromosfera chaqnashlari (**Quyosh chaqnashlari**) quyosh faolligining eng yuqori energiyali va tez rivojlanadigan ko'rinmasi. U vujudga kelayotgan dog'lar orasiga to'g'ri keladigan xromosfera qatlamlarida paydo bo'ladi. Chaqnashdan oldin flokkulalardan biri birdaniga yorug'lashib ketadi. Bir minut ichida kuchli nurlanish kattaligi o'n minglab kilometrli sohani qamrab oladi. Spektrning ko'rinma qismida chaqnash vodorod, ionlashgan kaltsiy va boshqa metalarning chiziqlarida ko'rinadi. Uzliksiz spektrning ham qiymati oshib ketadi, ba'zi paytlarda shunchalik oshadiki, hattoki chiqnash fotosfera fonida kuzatiladi.

Optik diapazondagi chaqnash bilan birga ultrabinafsha, rentgen va radio diapazonlardagi nurlanish intensivligi oshadi. Chaqnash paytida eng qisqa to'lqinli "qattiq" rentgen spektral chiziqlari kuzatiladi. Shu nurlanishlarning kuchayishi bir necha minut ichida sodir bo'lib o'tadi. Maksimumidan keyin bir necha o'n minut ichida susayib boradi. Chaqnash paytidagi yorug'lanish bilan birga gazning juda kuchli harakatlanishi va plazma bulutlarning otilib chiqishi kuzatiladi.

Barcha ko'rsatilgan hodisalar beqaror va notekim magnit maydoni ta'sirida katta energiyali plazmani otilib chiqirilishini ko'rsatadi. Magnit maydoni va plazma orasidagi murakkab jarayonlar natijasida magnit maydonining energiyasi issiqlik energiyaga aylanib, atrofdagi gazni o'nlab million kelvingacha isitib, ba'zi plazma bulutlarni tezashtirib yuboradi. Shu bilan birga zarrachalar ham tezlashib ketadi: elektronlar bir necha o'n kiloelektron-voltgacha va protonlar bir necha o'n megaelektron-voltgacha.

Chaqnash jarayoni xromosferaning ma'lum bir xajmini siqilib borib portlash xarakteriga ega. Chaqnash paytida ajralgan umumiy energiya (optik, radio, ultrabinafsha, rentgen diapazonlarda nurlanish, plazma bulutlarini va zarrachalarini tezlanishi) $10^{28} \div 10^{32}$ erg, yoki $10^{21} \div 10^{25}$ J ni tashkil etadi. Bu energiyaning yarimini tojdagi modda sochilishi va zarba to'liqlari olib ketadi, 0,25 qismini xromosferadagi modda harakatiga sarflangan. qolgan energiya ultrafinafsha, optik, radio va kosmik nurlanishga ketadi.

Protuberanetslar. Tojda ko'rinadigan faol birikmalar **protuberanetslar**. Atrofdagi plazmaga nisbatan ular sovuq va zich bulutlar. Protuberanetslarning spektri xromosferanikiga o'xshaydi. Ular turlicha shakllarda va o'lchamlarda bo'lishadi. Ko'pincha ular uzun tekis vertikal strukturaga ega bo'lib, quyosh sirtga perpendeklyar holatda joylanishgan. Shuning uchun ular Quyosh diskiga proektsiyasida egrichiziqli tolalar bo'lib ko'rinishadi. Protuberanetslar Quyosh atmosferasidagi eng yirik birikmalar, ularning uzunligi bir necha yuz ming kilometrgacha etadi, eni esa $6\,000 \div 10\,000$ oshmaydi. Ularning pastga qismi xromosfera bilan tutashib ketadi va balandlikka bir necha o'n ming kilometrliq yoyiladi.

Protubernetslar orqali xromosfera va toj orasida doimo modda almashuvi bo'lib o'tadi. Buni protuberanetslarning va ular ichidagi modda oqimlari ko'rsatadi. Bu tezliklar soatiga $10 \div 100$ kilometrni tashkil etadi. Protuberanetslarning vujudga kelishi, rivojlanishi va harakati dog'lar evolyutsiyasi bilan bog'liq.

Tojning aktiv sohalari. Tojning tashqi ko'rinishi pastki qatlamlardagi faollik bilan bog'liq. Dog'lar ustida egrichiziqli nurlar hamda **toj kondensatsiyalari** nomli toj moddasining zichliklari ko'rinadi. Bu kondensatsiyalar bullarni eslatadi. Mash'allar ustida esa to'g'richiziqli, sal to'liqlangan nurlar sistemalari kuzatiladi. Protuberanetslar odatda toj moddasining yoy va shlem shakildagi zichlanishlar bilan o'ralangan bo'ladi. Bu birikmalarning hammasi uzun nurlarga o'tib ketishadi. Bu nurlar quyoshning bir necha radiusigacha cho'zilib, quyosh faolligining maksimumida olingan toj suratlarida yahshi ko'rinadi.

Quyosh tranzientlari - yaqin orada paydo bo'lgan tushuncha. Bunda tojdagi qisqa vaqtli o'zgarishlar va quyoshdan uzoqlashayotgan toj bulutlari va zichliklari shaklidagi dinamik tuzilmalari tushuniladi. Bu hodisalar

protuberanetslarning chaqnashlari va portlashlari bilan bog'liq. Tranzientlar toj va rentgen chiziqlarida kuzatiladi.

Xromosfera chaqnashlari paytida hosil bo'lgan tranzientlar katta energiyali plazma sochilishi shaklida bo'lib, sekundiga 1500 kilometr tezlik bilan tarqaladi. Ular protuberanetslarning chaqnashlari paytida ham paydo bo'lishi mumkin, unda ularning tezliklari 800 km/sek ni tashkil qiladi.

Yuqorida qarab o'tilgan Quyosh faolligini ko'rinishlari bir biri bilan chammarchas bog'liq. Dog'lardar oldin hardoin mash'allar va flokulalar paydo bo'ladi. Chaqnashlar esa dog'lar guruhlarining faolligi oshishi yoki ularidagi keskin o'zgarishlar paytida sodir bo'ladi. Shu bilan birga protubernetslar faol sohalari yo'qolishidan keyin uzoq vaqt davomida bor bo'ladi. Sanab o'tilgan barcha hodisalar atmosferasining biron bir sohaga tegishli bo'lsa, u holda o'sha soha **Quyosh faolligi markazi** deyiladi.

Dog'lar va ularga bog'liq bo'lgan faollikning boshqa ko'rinishlarining soni vaqt sari o'zgarib turadi. Faollikning markazlari eng ko'p paytlari **Quyosh faolligining maksimumi** deyiladi, markazlari deyarli yo'q paytlari esa - minimum.

Faollik darajasini aniqlash mezoni sifatid Volf soni ishlatiladi:

$$W = k(f + 10g)$$

bu erda f - dog'larning umumiy soni, g - guruhlar soni, k - instrument turiga bog'liq koeffitsient.

Odatda Volf sonini oylar yoki yillar bo'yicha o'rtachasi olinadi va quyosh faolligini vaqtga bog'liq grafigi chiziladi. 8.34 rasmda faollikning goafigi ko'rsatilgan. U erada maksimum va minimumlar o'rtacha har 11 yilda takrorlangani ko'rinayotadi. Lekin ba'zi maksimumlar orasidagi vaqt 7÷17 yillargacha o'zgarishi mumkin.

Minimum vaqtida dog'lar deyarli yo'q bo'ladi. Keyin ular $\pm 35^\circ$ kengliklarda paydo bo'la boshlashadi. Asta sekin dog'lanish sohalari ekvatorga yaqinlashib boradi, ammo $\pm 8^\circ$ kengliklardan pastida dog'lar uchramaydi.

Faollik davriyligining eng muhim xususiyati bu magnit qutblarini o'zgarish qonuni. Har bir 11 yillik davr davomida hamma etakchi dog'lar shimoliy yarimshirida ma'lum bir qutblanishga ega, janubiy yarimshirida esa qaramaqarshi qutblanish mavjud. Huddi shu intiluvchi dog'larga ham tegishli. Ularning qutblanishlari etakchi dog'larga qaramaqarshi. Faollikning keyingi davrida etakchi va intiluvchi dog'larning qutblanishi aksiga o'zgaradi. Maksimum davrida Quyoshning umumiy magnit maydoni ham o'zgaradi. Shuning uchun 22-yillik davr haqida ham gapirsa bo'ladi (Xeyl davri). Quyosh faolligining boshqa ko'rinishlari ham 11-yillik davriylikka ega - mash'allar va flokulalar maydoni, chaqnashlar va protuberanetslar soni, tojning shakli va quyosh shamolining kuchi.

Quyosh faolligining davriyligi hozirgi paytda Quyosh fizikasining eng dolzarb va haligacha echilmagan masalalaridan biri bo'lib kelmoqda. Shuni aniq aytish mumkinki, Quyosh faolligining hilma hil ko'rinishlari magnit maydon, konvektsiya, meridian bo'yicha sirkulyatsiya va differentsial aylanish hodisalar orasida bo'lib o'tayotgan murakkab jarayonlarga bog'liq.

5.3-§. Yer-Oy tizimi. Yerning fizik tabiati. Yer tipidagi sayyoralar

Quyosh atrofida xususiyatlari turlicha bo'lgan ko'p sonli jismlar aylanadi. Quyosh tizimi tarkibiga, sayyoralaridan tashqari ularning yo'ldoshlari, asteroidlar (kichik sayyoralar), kometalar, sayyoralar aro chang zarrachalari kirishadi. Erning yo'ldoshi Oy - Quyoshdan keyin eng sezilarli osmon ob'ekti. Galiley birinchi bo'lib Yupiter atrofida yo'ldoshlari aylanishini topgan. Keyinchalik yo'ldoshlar boshqa sayyoralarda ham topilgan - Saturn, Mars, Uran, Neptun va Pluton. Yo'ldoshlarning axtarilishi va ochilishi haligacha davom etmoqda. Asteroid va kometalarning esa har yili yangisi ochiladi.

4-jadvalda sayyoralar orbitalarining elementlari berilgan: katta yarim o'q, eksstsentrisset, og'iganlik, aylanish davri, vosxodyahiy uzul va perigeliyning kengliklari.

Sayyoralar orbitalari elementlari					
Sayyora	Katta yarim o'q		Qaytishning siderik davri		Qaytishning sinodik davr, sutka
	a.ye.	10 ⁶ km	Tropik yil	sutkalar	
Merkuriy	0,387099	57,909	0,24085	87,969	115,88
Venera	0,723332	108,209	0,61521	224,700	583,92
Yer	1,000000	149,598	1,00004	365,257	
Mars	1,523662	227,937	1,88089	686,980	779,94
Yupiter	5,203363	778,412	11,86256	4 332,71	398,88
Saturn	9,537070	1 426,726	29,45852	10 795,50	378,09
Uran	19,191263	2 871,974	84,013	30 685	396,66
Neptun	30,068963	4 498,257	164,795	60 190	367,49
Pluton	39,481687	5 906,361	248,602	90 800	366,74

Sayyoralar orbitalari elementlari (davomi)					
Sayyora	O'rta sutkalik harakat	Orbitaning eksstsentrisset i	Ekliptikag a og'ish, gradus	Uzunlik, gradus	
				Восходящ ий узел	Перигели й
Merkuriy	14732,1626	0,205631	7,00487	48,33167	77,45645

Venera	5767,6903	0,006773	3,39471	76,68069	131,53298
Yer	3548,1866	0,016710	0,00005	-	102,94719
				11,260647	
Mars	1886,5178	0,093412	1,85061	49,57854	336,04084
Yupiter	299,1200	0,048393	1,30530	100,55615	14,75385
Saturn	120,4517	0,054151	2,48446	113,71504	92,43194
Uran	42,236	0,047168	0,76986	74,22988	170,96424
Neptun	32,532	0,085856	1,76917	131,72169	44,97135
Pluton	14,273	0,248808	17,14175	110,30341	224,06676

5.4-jadval.

O'z fizik xususiyatlari bo'yicha hamma sayyoralar iki guruhga bo'linishadi: Yer tipidagi sayyoralar (Merkuriy, Venera, Er, Mars) va gigant sayyoralar (Yupiter, Saturn, Uran, Neptun). Pluton haqida ma'lumotlar hozirgacha juda kam, lekin bor ma'lumotlarga ko'ra uni gigan-sayyoralar tipiga kiritish mumkin.

5-jadvalga asosan gigant-sayyoralar va Yer tipidagi sayyoralarning ba'zi fizik xarakteristikallari berilgan va u erdan ikkala tipdagi sayyoralar orasidagi farqlarni ko'rish mumkin.

Sayyoralarning fizik xarakteristikallari								
Sayyora	Ekvatorial radius		Qutblar dagi siqilish	Massa		Zichlik gr/sm ³	Gravit. tezlanish sm/sek ²	Parabolik tezlik km/sek
	km	Yer radiusi da		10 ²⁷ gr	Yer massasida			
Merkuriy	2439	0,382	0,0	0,330	0,052	5,43	370	4,25
Venera	6051	0,249	0,0	4,87	0,814	5,25	887	10,36
Yer	6378	1	0,0034	5,98	1	5,50	980	11,18
Mars	3397	0,533	0,0052	0,642	0,107	3,92	371	5,02
Yupiter	71398	11,194	0,062	1900	317,7	1,32	2486	59,6
Saturn	60330	9,459	0,103	569	95,2	0,68	1041	35,4

rn								
Uran	26220	4,111	0,06	86,9	14,5	1,22	844	21,0
Neptun	24760	3,882	0,02	102	17,1	1,65	1120	24,0
Pluton	1178±28	0,185±0,004	-	0,013±0,0024	0,00217±0,0038	1,9±0,5	63±15	1,21±0,13

Sayyoralarning fizik xarakteristikalar (davomi)							
Sayyora	Aylanish siderik davri	Markazga intilma tezlanish, ekvator da	Ekvator ning orbitaga og'masi	Ko'rinma yulduz kattaligi	Ko'rinma sferik albedosi	Harorat, K	Sirtqi
Merkuriy	58,65d	0,00	7°	-0,20 ^m	0,058	439	439
Venera	243d	0,00	2,6°	-3,81 ^m	0,78	229	735
Yer	24 ^h 56 ^m 4,1 ^s	3,4	23°26'		0,36	248	289
Mars	24 ^h 37 ^m 22 ^s	1,7	24°56'	-2,01 ^m	0,14	210	214
Yupiter	9 ^h 50,5 ^s	224,5	3°07'	-2,55 ^m	0,54	124,4	-
Saturn	17 ^h 12 ^m	175,5	26°45'	0,67 ^m	0,54	95,0	-
Uran	17 ^h 14,4 ^s	8,3	82°	5,52 ^m	0,60	59,1	-
Neptun	16,11 ^h	30,2	29°	7,84 ^m	0,50	59,3	-
Pluton	6,4 ^d	0,01	-	15,1 ^m	0,30	46±12	46±12

5.5-Jadval.

Gigant sayyoralar o'lcham va massa bo'yicha ancha kattaroq, zichliklari kichkinaroq, tezroq aylanishadi. Quyosh tizimidagi sayyoralarning umumiy massasining taxminan 98% gigant sayyoralarida jamlangan. Yana bir muhim jihat bor. Yupiter va Saturn ichki qatlamlaridan kelayotgan issiqlik oqimi shu sayyoralarga Quyoshdan tushayotgan issiqlik oqimiga teng. Er ichidan kelayotgan issiqlik Quyoshdan kelayotgan issiqlikdan solishtirib bo'lmaydigan darajada kichkina va bu holat boshqa er tipidagi sayyoralarida kuzatiladi. Gigant sayyoralar ko'p yo'ldoshlarga ega. Har bir sayyora o'z yo'ldoshlari bilan Quyosh tizimi modelini eslatadi. Bundan tashqari Yupiter, Saturn, Uran va Neptun xalqalarga ega. Yer tipidagi sayyoralaridan gigant sayyoralarga qaraganda yaxshiroq o'rganilgan. Bunga bir necha sabablar bor: 1) er tipidagi

sayyoralarni o'rganishda ma'lum darajada Erda bo'lib o'tayotgan jarayonlarni qo'llash mumkin; 2) Gigant sayyoralargacha bo'lgan masofa juda katta.

Sayyorlarni o'rganish uzoq vaqt davomida olib boriladi va uni bir necha davrlarga bo'lishimiz mumkin:

1) Qadimgi zamonlardan birinchi teleskopik kuzatuvlarga bo'lgan davr. Unda sayyoralarning harakatlari kuzatilardi va ularning tahlili Kopernikning geliotsentrik sistemasi yaratilishi bilan yakunlangan.

2) Birinchi teleskopik kuzatuvlardan XIX asr o'rtasigacha. Birinchi teleskoplarda Yupiterning katta yo'ldoshlari, Veneraning fazalari, Oy sirtining murakkab tuzilishi, Saturnning halqalari ochilgan edi. Keyinchalik Marsdagi qutblar, qoramtir va yorug' polosalar, Yupiterdagi polosalar va h.z. aniqlangan.

3) XIX asrning o'rtasidan XX asr o'rtasigacha. Optik jihatdan XIX asrdagi teleskoplar deyarli hozirgi zamon darajasiga etgan edi. Bu davrda Marsning yo'ldoshlari, gigant sayyoralarning ko'pgina yo'ldoshlari ochilgan, Marsdagi ingichka tizimi va fasillir o'zgarishi topilgan edi. Vizual kuzatuvlar fotografik kuzatuvlarga o'tishgan. XX asrning 20 yillaridan boshlab birinchi astrofizik kuzatuvlar olib borilgan: haroratni infraqizil nurlanish orqali o'lchash; sayyoralar sirti va atmosferasini o'rganish maqsadida ularning fotometriyasi va polyarimetriyasi olib borilgan; spektrlari olingan.

4) XX asrning 1950-1970 y.y. Bu davrda sayyoralarni o'rganishda yanaham kuchliroq usullar qo'llanildi - infraqizil spektrometriya, radioastronomiya va radiolokatsiya. Shu davrning ikkinchi yarimida birinchi kosmik apparatlarning (KA) qo'llanilishi boshlandi. Avval ular Oyga, keyin Mars va Veneraga uchirildi. KAlar yordamida Oy juda faol o'rganildi, u erga odamlar qo'nishdi. Sayyoralar avtomatik apparatlar yrdamida o'rganilardi. 1967 yilda boshqa sayyora - Veneraga birinchi kosmik appartak qo'ndirildi va uning sirti va atmosferasi o'rganildi.

5) 1970 yilda hozirgi paytgacha. Sayyoralar o'rganishda KA eradagi kuzatuvlardan muhimroq bo'lib qoldi. Venera va Mars sirtiga ko'p marta tushadigan qo'nadigan apparatlar (qA) yaratildi, boshqa sayyoralarga ularning sun'iy yo'ldoshlari yuborildi (orbital apparatlar - OA). Ular bir birlarini o'zaro to'ldirishadi. qAlar qo'nish joyi atrofidagi atmosfera va sirt haqida detal ma'lumotlar berishadi, OAlar esa butun sayyora sirtini va atmosferasini o'rganishda juda qo'l keladi. OAlarda astrofizikaning bor imkoniyatlari ishlatiladi. Bunda bir necha yutuqlarga erishish mumkin: a) kuzatuv sifati keskin oshadi, b) sayyoralarning Erdan ko'rinmaydigan soharali kuzatiladi, v) Er atmosferaning ta'siri bo'lmaydi va h.z.

KAlar sayyoralarni o'rganishda boshchilik qilgani bilan erdagi kuzatuvlar qator sababga ko'ra o'z qadrini yana ancha vaqt davomida yo'qotmaydi. Bu sabablardan quyidagilarni aytishimiz mumkin - a) KAlarga radiolokatsion antennalar yoki spektrograflardakka katta asboblarni o'rnatib bo'lmaydi, b) KAlar uzoq yillik kuzatuvlarni olib borishga imkon berishmaydi. Kometa va uzoq sayyoralarni o'rganishda faqat erdagi kuzatuvlar qo'l keladi.

Hozirgi paytda Quyosh tizimini o'rganish nafaqat astronomiyani vazifasi bo'lib kelmoqda. Bunga boshqa fanlar ham o'z salmog'ini qo'shishmoqda - geofizika, geoximiya, geologiya. Ular asosida fanning yangi tarmoqlari tug'ilib rivojlanishyapti - sayyoralar fizikasi, planetoximiya, planetologiya va boshqalar.

Bu paragrafda biz umumiy holda Yerning atmosferasini va ichki tuzilishini qarab chiqamiz. Erning fizik tuzilishini vertikal holatda qarab chiqadigan bo'lsak u ketma ket konsentrik sferalardan iboratligi ko'ramiz. Ulardan eng yuqorisi - gazdan iborat atmosfera, keyingisi suyuq gidrosfera, u sayyoraning asosiy qatlami - litosferani qisman qoplab turadi. Bu uchchala sfera o'z navbatida o'zigacha fizik xususiyatlariga ega bo'lgan qatlamlarga bo'linishadi.

Ichki tuzilish. Avval litosferani qarab chiqamiz. Chuqur qatlamlar haqida ma'lumotni zilzilalar va Erning inertsia momenti berishadi. Erning o'rtacha zichligi $5,5 \text{ grG'sm}^3$, sirdagi zichlik tahminan 3 grG'sm^3 . Demak chuqurlik bilan zichlik oshadi. Radius bo'ylab zichlik oshsa, u sharning inertsia momenti kichayadi. Erning inertsia momenti bir jinsli sharning inertsia momentidan $0,83$ qismini tashkil etadi. Bu modda konsentratsiyasining chegaralarini belgilaydi. Keyin ma'lumotlarni tahlil etishda seysmologiya fani yordam beradi. Gap shundaki, zilzilalar va portlashlar paytida litosferada Yerning eng chuqur qatlamlarigacha boradigan ikki turdagi seysmik to'lqinlar tarqaladi - ko'ndalang va bo'ylama. Bo'ylama to'lqinlarning tezligi kattaroq. To'lqin biron bir chegaradan o'tsa, u qaytariladi va sinadi. Seysmik tebranishlarni kuzatib va o'tish vaqtini o'lchab, qatlamlarning chuqurligini va u erdagi o'zgarishlarni o'rganish mumkin.

Ko'ndalang to'lqinlar suyuqlikda tarqalishi mumkin emas. Ular litosfera juda katta chuqurliklargacha qatq jismdan iboratligini ko'rsatishadi. Lekin 3000 km chuqurlikdan boshlab ko'ndalang to'lqinlar kuzatilmaydi, demak litosferaning ichki qismi erigan yadrodan iborat. Keyingi tadqiqotlar yadro ikki qismga bo'linishini ko'rsatdi - ichki yadro (radiusi 1300 km va tahminlarga ko'ra qattiq) va suyuqlangan tashqi yadro (radiusi 3400 km). Yerning yuqori qattiq qatlami ham bir jinsli emas. Tahminan 40 km chuqurlikda modda keskin o'zgaradigan chegara bor. Uning nomi Moxorovich qatlami. U qatlamning yuqorisi qobiq deb ataladi, pastsi esa mantiya.

Yer atmosferasining kimyoviy tarkibi	
Tashkil etuvchi	Protsent ulushi (hajm bo'yicha)
Azot, N_2	78
Kislorod, O_2	21

Karbonad anhidrid gazi,	0,03
Argon, Ar	0,93
Neon, Ne	$1,8 \cdot 10^{-3}$
Geliy, He	$5,2 \cdot 10^{-4}$
Kripton, Kr	$1,1 \cdot 10^{-4}$
Ksenon, Xe	$8,7 \cdot 10^{-6}$
Vodorod, H_2	$2,0 \cdot 10^{-5}$
Metan, CH_4	$1,6 \cdot 10^{-4}$
Suv bug'i, H_2O	0,1
Ozon, O_3	10^{-5}
Is gazi, CO	$1,2 \cdot 10^{-4}$
Ammiak, NH_3	10^{-5}
O'rtacha molekulyar massa	28,8

5.6-Jadval.

Mantiyaning zichligi Moxorovich qatlamida $3,3 \text{ gr/sm}^3$ dan yadro chegarasida $5,2 \text{ gr/sm}^3$ gacha o'zgaradi. Chegaradan keyin yadroning zichligi $9,4 \text{ gr/sm}^3$ gacha keskin oshadi va Yerning markazida u qiymat $14,5 \div 18 \text{ gr/sm}^3$ bo'ladi. Mantianing pastki qismida bosim $1,3 \cdot 10^6 \text{ atm}$ ga teng bo'ladi. Laboratoriya sharoitida bunaqa qiymatlarga erishib bo'lmaydi. Mantiya va yadroning kimyoviy tarkibi deyarli teng -temir, magniy, kremniy va boshqa elementlarning oksidlari. Mantianing harorati paski qatlamlarda 5000°K oshmaydi, yadroning harorati tahminan 10000°K . Issiqlik manbasi mantiyada bo'layotgan radioaktiv bo'linish. Ba'zi joylarda harorat erish nuqtasidan oshib ketadi va u erda lava hosil bo'ladi.

Mantiyaning zichligi Moxorovich qatlamida $3,3 \text{ gr/sm}^3$ dan yadro chegarasida $5,2 \text{ gr/sm}^3$ gacha o'zgaradi. Chegaradan keyin yadroning zichligi $9,4 \text{ gr/sm}^3$ gacha keskin oshadi va Yerning markazida u qiymat $14,5 \div 18 \text{ gr/sm}^3$ bo'ladi. Mantianing pastki qismida bosim $1,3 \cdot 10^6 \text{ atm}$ ga teng bo'ladi. Laboratoriya sharoitida bunaqa qiymatlarga erishib bo'lmaydi. Mantiya va yadroning kimyoviy tarkibi deyarli teng -temir, magniy, kremniy va boshqa elementlarning oksidlari. Mantianing harorati paski qatlamlarda 5000°K oshmaydi, yadroning harorati tahminan 10000°K . Issiqlik manbasi mantiyada bo'layotgan radioaktiv bo'linish. Ba'zi joylarda harorat erish nuqtasidan oshib ketadi va u erda lava hosil bo'ladi.

Qobiqning tuzilishi bir jinsli emas. Okeanlar tagida uning qalinligi kichkina, materiklarda katta. qobiq, gidrosfera va atmosfera vulqonlar jaraynida mantiyadan otlib chiqaytgan lava, gaz va bo'g'lar ta'sirida shikillanishgan. Yer qobiq'ining yoshi taxminan $4,5 \cdot 10^9$ yil deb aniqlangan. Yer sathining 71% gidrosferani asosiy tashkil etuvchi okeanlar qoplagan. Yer - Quyosh tizimida gidrosferaga ega bo'lgan yagona sayyora. Gidrosferadagi suv sirkulyatsiyasi turli yo'llar bilan Yerdagi iqlimni boshqarib turadi. Masalan parnik effekti yo'li bilan. Unda Quyoshdan kelgan optik nurlanish Yer sathida infraqizil nurlanishga aylanadi, uni o'z navbatida suv bo'g'lari yutib oladi va qiziydi. Yoki gidrosfera yoz faslida issiqlikni to'playdi va qishda tarqatadi va harorat tebranishlarini yumhatadi. Undan tashqari gidrosfera issiqlikni Yerning ekvatorial qismlaridan shimoliy, hattoki qutbiy kengliklarga olib boradi (Golfstrim oqimi).

Atmosfera. Yer atmosferasi litosferaga qaraganda yahshiroq o'rganilgan. Kimyoviy tarkibi 6 javdalda berilgan. Atmosferanig'ng asosiy tashkil etuvchilari - azot (~80%) va kislorod (~20%). Atmosferaning hozirgi tarkibi qadimnikidan ($4,5 \cdot 10^9$ yil avvalgi) keskin farq qiladi. O'sha paytda kislorod o'rnida uglekislota ko'p edi.

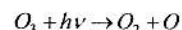
Atmosferaning Yer sathdagi o'rtacha harorati 288 K, effektiv harorati 249 K. Parnik effekti $\Delta T = 39$ K ortig'ini yaratadi. Bu ortiq tirik organizmlarni yashashiga aynan to'g'ri keladi.

Atmosferaning pastki, harorat gradienti katta bo'lgan qatlami troposfera deb ataladi. U erda issiqlik infraqizil nurlar va konveksiya yordamida o'tkaziladi va balandlik bilan uning harorati pasayadi. Troposferaning qalinligi 10 km. Undan yuqori Yer atmosferasining stratosfera, mezosfera va termosfera qatlamlari joylashgan. Troposferaning balandlik shkalasi quyidagicha aniqlanadi:

$$H = \frac{RT}{\mu g} = \frac{8,31 \cdot 10^7 \cdot 288}{28,8 \cdot 980} \approx 8 \cdot 10^5 \text{ sm}$$

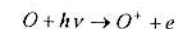
ya'ni bosim har 8 kilometr balandlikda e marta kamayadi.

Yer atmosferasining 20-25 kilometr balandligida harorat osha boradi. Buning sababi kvantlar ta'sirida ozonning parchalanishi:



Yuqoridagi reaksiya natijasida ozon $2000\text{\AA} \div 3000\text{\AA}$ oralig'ida ultrabinafsha nurlanishni yutadi va atmosferani qizitadi va maksimumi taxminan 50 kilometr balandlikda joylashgan. Mezosferadagi ozon qalqon singari Yerni Quyoshning qattiq nurlanishidan himoya qilib turadi. Bu qalqonsiz Yerdagi hozirgi ko'rinishdagi hayotni paydo bo'lishi gumonlidir.

Mezosferadan yuqori mezopauza nomli harorat minimumi bor. Undan keyin harorat yanada oshadi. Buning sababi $150 \div 300$ kilometr balandlikda kislorodning ionizatsiyasi sodir bo'layotganligi. Kislorod Quyoshdan kelayotgan ultrabinafsha nurlarini yutadi va ion va elektron hosil bo'ladi:



Mezosfera taxminan 400 kilometrgacha etadi. Bu erda atmosferaning harorati Quyosh faolligi davrida 1800 K gacha etadi, faollikning minimum yillarida bu harorat 1000K ga etadi. 300 kilometrlik balandlikda elektronlar konsentratsiyasi kunduzi 10^6 sm^{-3} ni tashkil etadi. Shu zichlikdagi plazma to'liq uzunligi 20 metrdan katta bo'lgan radio nurlarni qaytarib yuboradi, undan qisqalarini esa o'tkazib yuboradi.

Yerning magnit maydoni. Yer nisbatan kuchli magnit maydoniga ega, sathida 0,5 Ersted. Yer magnit maydonining kuchlanish chiziqlari o'rtacha olgandi dipolning kuchlanish chiziqlarini eslatadi. Faqat ularda qo'shimcha qobiqdagi magnitlashgan moddalarning ta'sirida hosil bo'lgan notekisliklar bor. Haqiqiy magnit maydoniga yaqin bo'lgan faraz qilingan dipol ekvivalent magnit dipoli deyiladi. Bu dipolning qutblari geografik qutblarga to'g'ri kelmaydi. Shimoliy magnit qutbning geografik koordinatalari $\varphi = 79^\circ$ sh.k., $\lambda = 70^\circ$ g'u. (shimoliy Grenlandiya). Magnit maydonning qutblanishi har 500 ming + 50 mln yil intervallarida o'zgarib turadi.

Magnit maydonning vujudga kelishi dinamo-mexanizmi bilan bog'liq. Magnit maydoni suyuq yadrodagi gidrodinamik harakatlari natijasi deb hisoblanadi. Suyuq yadroning harorati katta (bir necha ming K) va u sezilarli o'tkazuvchanlikka ega. Agar yadroda kichkina bo'lgan ham boshlag'ich magnit maydoni bo'lsa, yadrodagi modda oqimi bu magnit maydon bilan to'qnashganda uni kuchaytirib yuboradi. Sababi elektr oqimi boshlag'ich maydonga qo'shimcha magnit maydonni hosil qiladi, u o'z navbatida elekt oqimini kuchaytiradi va bu jarayon qayta qayta takrorlanaveradi. Bu jarayon elektr oqimida hosil bo'ladigan issiqlik energiyasi gidrodinamik harakatlaridan hosil bo'ladigan energiya bilan tenglashmagunicha davom etaveradi.

Shunday qilib, sayyoraning magnit maydoni mavjudligi unda qisman suyuq yadrosi borligini ko'rsatadi. Lekin teskarisi haqiqiy emas, ya'ni magnit maydoni yo'qligi suyuq yadro yo'q degani emas. Magnit maydonning hosil bo'lishida yana boshqa faktorlar ham muhim rol o'ynashadi, masalan Oyning ta'siri.

Uzoq masofalarda Yer magnit maydonining shakli Quyosh oqimi ta'sirida o'zgaradi. Yerning magnit maydonida ko'p sonli zaryadlangan zarrachalar ushlanib qolinadi (elektron va protonlar), ular radiatsion poyaslarini tashkil qilishadi. Ularning ikki turi mavjud. Ichki poyas protonlardan (10^8 eV) va elektronlardan ($20 \div 500$ keV) iborat. Bu poyas balandligi 2400 kilometrdan 5400 kilometrgacha bo'lgan oraliqda va $\pm 30^\circ$ kengliklarda joylashgan. Tashqi

poyas balandligi 12000+20000 kilometr oraliqda joylashgan. U kichikroq energiyali proton va elektronlardan iborat. Poyaslar tushunchasi nisbiy, ularning chegaralari qanday zarrachalar qaralayotibdi va ularning energiyalariga bog'liq. Balandligi 50000-60000 kilometrda uchunchi radiatsion poyas, yoki halqasimon oqimi joylashgan. Uning kuchi 10^7 Amper va u 200 eV energiyali elektronlardan tashkil topgan. Umuman olganda zaryadlangan zarrachalar iqimi bor bo'lgan Yer atrofidagi fazo magnitosfera deb ataladi.

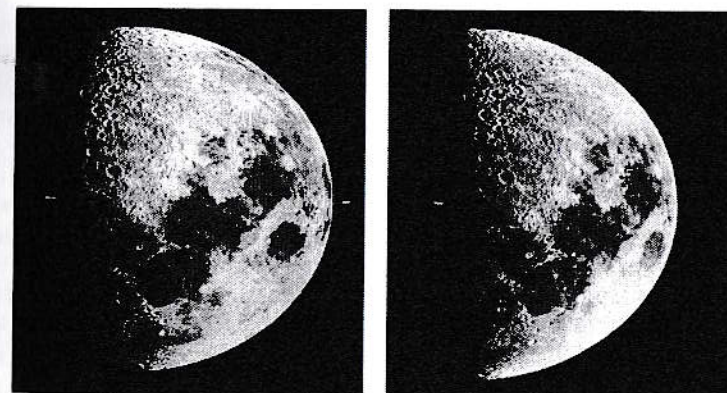
Quyosh oqimining Yerga ta'siri sezilarli, ba'zi paytlarda juda katta. Uning tasir kuchi vaqti-vaqti bilan bir necha soatlar davomida o'zgarib va tebranib turadi. Bu hodisa magnit bo'roni deb ataladi. Magnit bo'ronlar har hil hodisalarga olib keladi. Masalan shimoliy kengliklarda qutb chaqnashlari kuzatiladi. Yana u Yerdagi yana radio aloqa buziladi. Sababi Quyosh chaqnashlar paytida magnitosferada qo'shimcha zaryadlangan zarrachalar paydo bo'ladi va ionlanish darajasi keskin oshib ketadi.

Oy - Yerga eng yaqin bo'lgan tabiiy osmon jismi. Uning radiusi 1738 kilometr, Yerdan o'rtacha masofasi 384400 kilometr. Oyning massasi Yernikidan 81,3 marta kam, Yerkin tushish tezlanishi 163 sm/s^2 , bu Yernikidan 6 marta kichkina. Oydagi parabolik tezlik $2,83 \text{ km/s}$ yoki Yerdagidan 4,6 marta kichik. Oydagi tortish kuchi va parabolik tezlik kichikligi sababli unga qo'nish va undan uchish masalasi nisbatan oson echiladigan masala. Shu sababli Oy - odamlar qo'ngan birinchi tabiiy jism.

Oy massasining Yer massasiga bo'lgan nisbati $(1/81,3)$ boshqa sayyoralar-yo'ldosh sistemalaridan nisbatan ancha katta. Shu kattalik bo'yicha keyingi o'rinda turadigan sistema bu Neptun-Triton, lekin neptunning massasi 700 marta katta. Shu sababli Yer-Oy sistemasini qo'shaloq sayyoralar sistemasi deb atashga asos bor. Oyning boshqa xususiyatlaridan biri bu uning o'rtacha zichligi - $3,3 \text{ gr/sm}^3$, u Yerning zichligidan 1,5 marta kam ($5,5 \text{ gr/sm}^3$).

Oyning o'q atrofida aylanish davri Yer atrofida aylinish davriga teng, shuning uchun Oy har doim Yerga bir tomoni bidan ko'rinadi. Bunaqa harakat sinxron harakat deyiladi.

Oy sathining yirik detallari - "dengizlar" va katta tog' sistemalari bevosita ko'z bilan ko'rinadi. Oyni teleskopda birinchi bo'lib Galiley kuzatgan. U Oyning qoramtir sohalari dengiz deb atadi va Oyda suv yo'qligi ma'lum bo'lsa ham, bu termin hozirgacha saqlanib keladi. rasmda Oyning haritasi ko'rsatilgan. Oy sathining 70% egallaydigan keng, yorug' sohalari materiklar deb ataladi. Bu notekis, tog'li joylar. Oyning qolgan 30% qismi - dengizlar, tekis silliq sohalar. Ularga XVII asrda Tinchlik Dengizi, Yomg'irlar Dengizi, Sokinlik Dengizi, Bo'ronlar okeani va hokozo nomlar berilgan.



5.3-rasm. Oyning ko'rinishi.

Materiklarni tog' xrebetlari kesib o'tishadi. Ular asosan dengizlarning qirg'oqlarida joylashgan. Ularga Yerdagi tog'larning nomlari berilgan: Appeninlar, Kavkaz, Alplar, Altay va boshqa. Tog'larning eng katta balandligi 5,6 kilometr. Oy relifining eng ajoyib shakillaridan biri - kraterlar. Oy krateri halqasimon valdan va uning ichidagi tekislikdan iborat. Ba'zi tekislikning o'rtasida markaziy tog' mavjud, uning balandligi valning balandligidan oshmaydi. Eng katta kraterlarning diametri 100 kilometrgacha boradi. Kraterlarga olimlarning nomlari berilgan (40 - rasm).

Oyning ko'rinmas qismi KAlar yordamida 1959 yildan boshlab o'rganib kelinmoqda. Tadqiqotlar natijasida Oyning orqa tomonida ma'lum farqlari borligi aniqlandi. Orqa tomondagi pastliklar qoramtir emas, balki yorqin sohalar bo'lib ko'rinadi - basseynlar. Oldi qismida pastliklar lava bilan to'ldirilgan, orqada bu kuzatilmaydi. Dengizlar orqa tomonda basseynlar bilan davom etadi. 1966 yilda Oyga "Luna-9" nomli birinchi avtomatik sayyoralararo stantsiya (ASS) qo'ndi va Oy sathining birinchi suratlarini Erga uzatdi. Bundan boshlab ko'p ASSlar oyga borib ishlashgan. Ular qo'nish joyda qator ilmiy ishlarni olib borishgan.

Kuzatuvchining ko'zi Oyni yorug' va sariqroq disk bo'lib ko'radi. Lekin bu aldamchi yorug'lik, Oyning qaytarish qobiliyati juda kichkina. Oyning sferik albedosi tahminan 0,06. Yorug' sohalarning qaytarish qobiliyati qoramtirlarnikidan 2-3 marta katta. Oy sathining eng yorug' sohalari - kraterlar atrofidagi "nurlar" tushayotgan nurlanishning 20% qaytarishadi. Oy sathi tomonidan yutilgan energiya uni qizitadi va infragizil diapazonda qayta nurlanadi. Oyning infragizil va radiodiapazondagi kuzatuvlar quyidagilarni ko'rsatdi:

1. Oy ekvatorida sathning kunduzigi harorati taxminan 390 K bo'ladi.
2. Qorong'ida sathning harorati juda sovuq - 100-120 K.

3. Oy gruntining isqlik o'tkazuvchanligi juda past, quruq qumning issiqlik o'tkazuvchanligiga teng. Tun va kun orasidagi harorat tebranishlari 10 santimetr chuqurlikda tekislanib ketadi.

Bu kuzatuvlar va ASlarning tadqiqotlari Oy grundi kovak strukturaga egaligini ko'rsatdi. Gruntning muhim ma'lumotlari ASS tomonidan olib kelingan namunalardan aniqlandi. Hozirgi paytda Yerda Oy gruntining tahminan 400 kilogram namunalari saqlanadi. Bu namunalarning tarkibi Yer gruntining tarkibiga o'hshab ketadi. Dengizlar bazaltlardan, kontinentlar silikatlardan tashkil topishgan. Oy gruntining yoshi juda katta, eng qarilari 4,5 milliard yil. Oy sathining ko'rinishi (erishmalar va singan parchalar) uzliksiz meteorit bombardimonligini ko'rsatadi. Lekin sathning buzilish tezligi juda kichik, tahminan 10^{-7} sm/yil. Bu degani Oyda KAlar yana million yillar davomida saqlanib borishadi.

KAlardagi seysmograflar Oyda meteoritlar tushishi bilan bog'liq bo'lgan ko'p sonli mayda zilzilalarni sezishdi. Bu tadqiqotlar Oyda katta seysmik faollikni ko'rsatishmadi. Lekin Oy geologik o'lgan sayyora emas. Oyda vulqonlar bilan bolik chaqnashlar kuzatildi. Hattoki otilib chiqqan gaz bulutining spektri olindi.

Oyda magnit maydoni deyarli yo'q, u Yer maydonining 10^{-4} qismini tashkil qiladi. Bundan Oyda suyuq yadrosi ham yo'q degan hulosa qilish mumkin. Oyda qalinligi 60 kilometrli qobiq, mantiya va ehtimol kichkina qattiq yadro mavjud.

Kraterlarning ko'pchiligi meteoritlardan paydo bo'lishgan, vulqon otlishi izlari juda kam. Ba'zi paytlarda ikkala jarayon o'rinli bo'lishi mumkin, chunki juda katta meteoritlar tushganda qobiqni yorib o'tib vulqonlar otilishiga, lava va gaz yoyilishlariga olib kelishi mumkin.

Oy sathi Quyosh tizimining boshlang'ich bosqichlarida bo'lib o'tgan jarayonlarni o'rganishda juda qo'l keladi. Lekin baribir birinchi yuz ming yillar haqida ma'lumotlar etarli emas. Shuning uchun Oy kelib chiqishining to'liq nazariyasini qurish qiyin. Zamonaviy nuqtai nazariga ko'ra Oy shakillanishining birinchi bosqichi bu planetozemal jismlarning akkretsiyasi (boshqa Yer tipidagi sayyoralar singari). Keyin Oyning juda qari bo'lgan qobig'i shakillandi. Bu ikkinchi bosqich edi. Uchinchi bosqich vulqonlar faolligi bilan ajraladi. Bu paytda Oyning mantiyasi suyultirilgan holatda bo'lib, lavaning ulkan massalari qobiqni yorib yuborishar edi. Eng qari kraterlarning yoshi 4 milliard yil. Tahminlarga ko'ra o'sha paytda Oy sathiga ohirgi kuchli planetozemallar oqimi tushib kelgan. Bu Oy evolyutsiyasining to'rtichi bosqichi edi. Eng katta meteoritlar ta'sirida dengizlar paydo bo'lgan. Undan keyin beshinchi davr boshlandi. Bu paytda lavaning juda katta massalari qobiq ichidan sochilib chiqqan. Bu jarayonlar tahminan uch milliard yil avval tugagan va ohirgi - eng uzun - sokinlik bosqichi kuchga kirdi. Meteoritlar tushishi keskin kamayib ketdi. Shuning uchun dengizlar hozirgacha tekis va silliq sathini saqlab qolishgan.

Yuqoridagi aytilgandek, Yer va Mars o'z hususiyatlari bilan boshqa sayyoralaridan ajralib, Yer tipidagi sayyoralar guruhini tashkil qilishadi. 4 va 5 jadvallarda ularning orbital va fizik xarakteristikalari berilgan. Bu erda biz Er tipidagi sayyoralarning umumiy jihatlarini va xar birini alohida qarab chiqamiz (Yer oldinga paragrafda o'rganilgan).

Bu sayyoralarning har biri qattiq qobiqqa ega. Bu qobiqda ularning 99,99% massasi jamlangan. Venera, Yer va Mars atmosferaga ega, Merkuriyda u yo'q. Faqatgina Yerda gidrosfera va biosfera mavjud. Marsda gidrosferaning analogi - kriosfera - qutb va gruntidagi muzlar. Venerada suv yo'q, ammo atmosferasidagi bo'g'larning kontsentratsiyasi 1 sm qalinlikdagi suv qatlamiga mos. Merkuriy, Yer va Marsda o'z magnit maydonlari bor.

Yer tipidagi sayyoralarning qobig'ini vertikal tuzilmasini qarasak, u erda bir nechta fizik-kimyxo xarakteriskalari bilan ajralib turadigan qatlamlarni ajratishimiz mumkin.

Yerning ichki tuzilishi yaxshi o'rganilganligi sababli, u boshqa sayyoralarni o'rganishda model tariqasida ishlatiladi. Yer singari bu sayyoralarida qalinligi 10-100 kilometrli eng yuqori qattiq qatlam - qobiqni, keyin qalin va qattiq qatlam - mantiyani va nihoyat yadroni ajratish mumkin. Yer tipidagi sayyoralarida tektonik hrakatlarlar izlari kuzatiladi. Bu jihatdan Yer eng faol, keyin Venera va Mars keladi. Shu guruhlardagi sayyoralarning kimyoviy tarkibi quyosh tarkibidan keskin farq qiladi - vodorod, geliy va va inert gazlar juda kam. Buni 7 jadvallarda ko'rish mumkin.

Venera va Mars atmosferalarining kimyoviy tarkibi. Protsent ulushi
(hajm bo'yicha)

Tashkil etuvchi	Venera	Mars
Azot, N ₂	3,5	2,7
Kislrod, O ₂	Qiymati aniqlanmagan	0,13
Karbonad Angidrid gazi, CO ₂	96,5	95
Argon, Ar	$7 \cdot 10^{-3}$	1,6
Neon, Ne	$7 \cdot 10^{-4}$	$2,5 \cdot 10^{-4}$
Geliy, He	$1,2 \cdot 10^{-4}$	Qiymati aniqlanmagan
Kripton, Kr	$7 \cdot 10^{-5}$	$3 \cdot 10^{-5}$
Ksenon, Xe	Qiymati aniqlanmagan	$8 \cdot 10^{-6}$
Vodorod, H ₂	10^{-3}	Yo'q
Metan, CH ₄	Yo'q	Yo'q
Suv bug'i, H ₂ O	$2 \cdot 10^{-3}$	0-0,2
Ozon, O ₃	Yo'q	$(0,4-2) \cdot 10^{-5}$
Is gazi, CO	$3 \cdot 10^{-3}$	0,07

Ammiak, NH_3	Yo'q	Yo'q
O'rtacha molekulyar massa	43,5	43,5

5.7-Jadval.

To'rtta sayyoralarning hammasi intensiv meteorit bombardimonligiga duch kelishgan. Mars va merkuriyning tuzilishida bu katta rol o'ynagan. Venera va Yerda ularning izlari tekislanib ketgan.

Merkuriy. Quyoshga eng yaqin sayyora, o'lchamlari Oynikidan sal katta. Zichligi Yernikiga yaqin, erkin tushish tezlanishi Ernikidan 2,6 marta kichik. Quyoshga yaqinligi va kichik burchak kattaligi (tahminan $7''$) sababli uni kuzatish juda qiyin va bu sayyora haqida Erdan olingan ma'lumotlar kam. Uning aylanish davrini faqat radiolokatsiya usuli bilan topishgan. Bu usul yordamida sayyoraning tezligini va yo'nalishni topish mumkin. Merkuriyning radiolokatsiyasi uning o'q atrofida aylanish davri $58,6 \pm 0,5$ kunga tengligini ko'rsatdi. Bu Quyosh atrofida aylanish davrining $2/3$ qismini tashkil qiladi. Aylanish o'qi ekliptika tekisligiga deyarli perpendikulyar. Merkuriyning tabiiy yo'ldoshlari yo'q.

Merkuriy haqidagi boshqa ma'lumotlar "Mariner-10" KA yordamida olingan. 9,14 rasmda Merkuriyning ozaika shaklidagi surati ko'rsatilgan. Merkuriy sathining ko'rinishi Oyni eslatadi - duja ko'p kraterlar. Ammo farqlar xam bor. Merkuriyda keng, tekis va kraterlardan hol dengiz sohalari yo'q. Ikkinchi tomonlan u erda baland (bir necha kilometr) va cho'zilgan toq sistemalari mavjud. Bu degani sayyora evolyutsiya jarayonida siqilib borgan.

Merkuriyning sathi ekvatorida kunduzgi tomonida 700 K gacha qiziydi, qorong'i tomonida 100 K gacha sovib ketadi. Lekin ikkala tomondagi radionurlanishning intensivligi katta farq qilmaydi. Bundan hulosa - sathdagi grunt mayda parchalangan va kichik issiqlik o'tkazuvchanlikli moddadan tashkil etgan.

Merkuriy atmosferasining zichligi nihoyatda kichkina, kontsentratsiyasi 10^6 sm^{-3} . Yer sharoitida bunaqa zichlik 700 kilometr tepalikda uchraydi. Atmosferaning kimyoviy tarkibi aniq emas. "Mariner-10" da o'rnatilgan spektrometr 104 sm^{-3} kontsentratsiyada geliyni topdi. Keyinchalik u erda anchagina natriy borligi aniqlandi - 10^5 sm^{-3} . Sayyoraning kunduzgi haroratida natriy faqat gaz sifatida bo'lishi mumkin.

Merkuriyning magnit maydoni bor. Ekvator enida uning kuchlanishi $\sim 0,002 \text{ E}$ (Yernikidan 300 marta kichik). Magnit maydonining o'qi aylanish o'qi bilan taxminan ustma-ust tushadi. Magnit maydoni suyuq yadro mavjudligini ko'rsatadi. Umuman aytganda Merkuriyning tashqi ko'rinishi Oyga o'hshaydi, ichki tuzilishiesha Yerga.

Venera. Uning massasi Ernikidan katta farq qilmaydi ($M=0,82M_{\text{Yer}}$), o'lchamlari ham deyarli bir hil ($R=0,95R_{\text{Yer}}$). XVIII asrda Venerada atmosfera borligi isbotlandi. Shuning uchun ko'p yillar davomida Venerada va Erda fizik sharoitlari bir hil bo'lishi kerak degan fikr yuritilgan. Ammo ohirgi bir necha

o'n yillar davomida o'tkazilgan tadqiqotlar bu fikrdan qaytarishdi. Veneraning qalin atmosferasi uni bevosita kuzatishga imkon bermaydi. Barcha kuzatiladigan hilma-hil detallar Veneraning qalin atmosferasiga tegishli va ular vaqt sari o'zgarib turishadi. 41- rasmda Veneraning ultrabinafsha nurlarda olingan surati ko'rsatilgan.



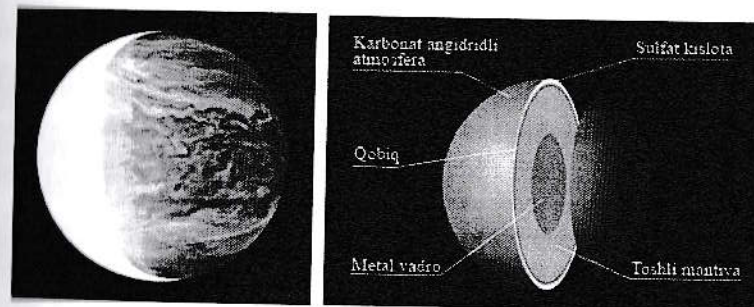
5.4- rasm.

Veneraning ultrabinafsha nurlarda ko'rinishi. Sayyora atmosferasida ekvatoridan qutb tomonga yo'nalgan shamollar ko'rinadi.

Venerani aylanish davri, Merkuriy kabi, radiolokatorlar paydo bo'lganidan keyn aniqlandi, chunki Yerdan uning sathini faqat radiodiapazonda ko'rish mumkin. Veneraning aylanishi juda sekin kechadi (davri 243 Yer sutkasi), yo'nalishi esa orbita bo'ylab harakat yo'nalishiga qarama-qarshi. O'qning ekliptikaga og'masi 3° .

Aylanish va qaytish davrlari bir-biriga yaqin va yo'nalishlari qarama-qarshi bo'lgani sababli Venerada, u Quyosh atrofida bir marta aylanguncha, kun botishi va chiqishi ikki marta sodir bo'ladi. Veneraning bir sutkasi 177 Yer sutkasiga teng.

Radiolokatsiya yordamida Veneraning sathikeng o'rganilgan. Ma'lum bo'lishicha, Venera geologik faol sayyora. U yerda ko'p sonli vulqonlar va tektonok siljishlar izlari, lava oqimlari va qobiqdagi yorilganliklari kuzatildi. Bundan tashqari 1000 dan ortiq kraterlar topildi. Venera ichki tuzilishi bo'yicha Yerga o'xshadi degan taxminlar bor.



5.6- rasm. Venera va uning tuzilishi

Veneraning sathiga "Venera" seriyasidagi ASS qo'ndirilgan. Ular Yerda Venera sathining suratlarini berishgan (42 rasm), atmosfera va gruntning kimyoviy tarkibini o'rganishgan (7 jadval). Atmosferaning asosiy tashkil etuvchisi - SO_2 va N_2 . Ulardan tashqari boshqa gazlar ham bor - suv bo'g'i, is gaz, SO_2 va HC bo'g'lari. ASSlarda Venera atmosferasining harorat, bosim va zichlik profillari o'rganildi. Uning sathida harorat 735 K, bosim 90 atm ekan. Venerada fasillar almashuvi yo'q. Veneradagi katta harorat sababi - parnik effekti, chunki baland harorat, katta bosim va SO_2 ning katta miqdori bir-biri bilan bog'liq.

Venera atmosferasida bulutlar ham kuzatiladi. Ularning pasti chegarasi 48 kilometr, yuqorisi 70 kilometr balandlikda joylashgan. Ular katta qayotarish qobiliyatiga ega. Veneraning sferik albedosi Quyosh tizimida eng kattasi - 0,78. Natijada Venera Quyoshdan oladigan energiya miqdori Yernikidan ham kichkina.

Venera atmosferasidagi sirkulyatsiya murakkab xarakterga ega. 50-70 kilometr balandliklarda doimo shamollar kechaydi, ularning o'rtacha tezliklari 100 km/s. Bu hodisa bulutlar harakati orqali topilgan. Keyin Venera atmosferasiga aerostatlar uchirildi. Ular uzatgan ma'lumotlarga ko'ra pastga tushish sari shamollar sekinlashishadi va sathning yaqinida o'rtacha tezlik 1 m/s bo'ladi. Kengliklar bo'yicha shamollar merianlarnikidan kuchliroq.

Veneraning magnit maydoni yo'q desa bo'ladi, Ernikiga nisbati 10-4. Veneraning tabiiy yo'ldoshlari ham mavjud emas.

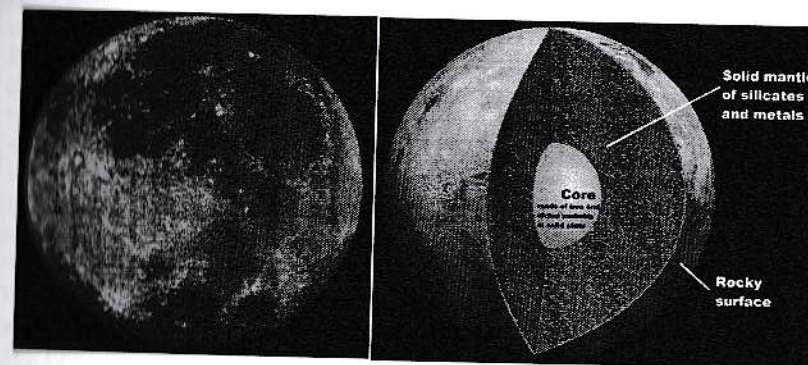
Mars. Bu Yer tipidagi to'rttchi sayyora, radiusi ernikidan ikki marta va massasi to'qqiz marta kichik. Ko'rinma diametri 25" dan 14" gacha o'zgarib turadi. Mars sathida qo'zg'alamas detalla mavjud. Bu uning aylanish davrini va ekliptikaga og'masini katta aniqlik bilan topishga yordam berdi (5 jadval). Erga o'hshab Marsda fasllar almashuvi sodir bo'ladi. Lekin janubiy yarimsharida shimoliyga qaraganda ez qisqa va issiqroq. Sababi janubiy yarimsharida o'z perigelidan o'tish paytiga to'g'ri keladi. Marsning bir yili 673 er sutkasiga teng.

Teleskopda Mars sathini kuzatgan, u erda ko'p sonli detallar ko'rinadi. Ularni uchta guruhlarga bo'lishimiz mumkin:

1. Yorqin sohalar, yoki materiklar, diskning 2/3 qismini egallashadi. qizil-srg'ish rangli yorug', tekis dalalar.
2. Qutb qalpoqlari - qutblar atrofida qishda paydo bo'lib, yozda yo'qolib ketadigan oq dog'lar. Bu qalpoqlar qish davrida Marsni 50° kengliklarigacha bo'lgan sohalarini egallashadi.
3. Qoramtir sohalar (dengizlar) - diskni 1/3 qismini egallashadi. Dengizlarning ko'rinishi fasillarga bog'liq. Yozda ular yahshiroq ko'rinishadi, sababi chang to'zonlari bo'lishi mumkin.

KA va ASS lardan olib borilgan tadqiqotlar juda ko'p va qiziqarli natijalarni berishdi. Ularga ko'ra Mars sathida Er singari hamma geologik

jarayonlar bo'lib o'tgan - zarbalar, tektonik surilishlar, vulqon otilishlari, eroziya. Lekin ularning izlari boshqacha proporsiyalarga ega. 9,26 rasmda "Viking-1" va "Masr-Pasfaynder" ASS lar tomonidan olingan Masr sathi suratlar ko'rsatilgan.



5.7 -rasm. Mars va uning tuzilishi

Mars paydo bo'lishi bilan kometa va asteroidlar tomonidan intensiv bombardimonligiga uchragan. Basseyn va kraterlar janubiy yarimsharida yaxshi saqlanib qolishgan, shimolida esa asosan tekislanib ketishgan. Shimoliy yarimshar yana bir xususiyatga ega - uning sathi bir necha kilometr pastroq. Buning sababi haligacha aniq emas. Bunga katta asteroid zarbasi yoki tektonik siljishlar bo'lishi mumkin. Lekin Marsda tektonikani roli nisbatan kichkina. Marsda tog' sistemalari yo'q. Ammo u erda juda katta, balandligi 25-28 kilometrga etadigan tog'lar mavjud. Bu tog'lar nisbatan "yosh" - 108 yildan oshmaydi. Bunaqa tog'larning paydo bo'lishi sababi - Marsdagi toritish kuchi kichkinaligi va tektonik faollikning kamligi. 5.7-rasmda Marsda joylashgan Olimp tog'ining surati berilgan.

Erroziya izlari xar-xil ko'rinishda mavjud - xotik relefli sohalar, turli ko'rinishdagi vodiylar, suv, lava, muzliklar oqimlaridan qolgan uzanlar, barhanlar va xokazo. Hozirgi paytda Marsda bevosita suv mavjud emas. Kichkina bosim va katta harorat sababli u allaqachon bo'g'lanib, yo'q bo'lib ketgan. Qurigan daryo uzanlari qadimda Marsda suv bo'lganligi va zichroq atmosfera bo'lganliniki ko'rsatishadi. Uzanlarning ikki turi mavjud: ulka sel oqimlari va oddiy daryolar (43 rasm).

Marsda magnit maydon bor, lekin u dipolli emas. Magnit maydon faqat bir nechta joyda mavjud. Mars sathining o'rtacha harorati 200 K, ekvatorida kunduzgi harorat 290K, kechqurun 170 K, katta sutkali harorat tebranishlari sababi atmosfera zichligi va gruntning issiqlik o'tkazuvchanligining kichikligi. Marsda eng past harorat qutblarda kuzatiladi 145 K. Mars gruntida ulkan abadiy muzliklar borligi tahmin qilinadi.

Mars atmosferasining kimyoviy tarkibi 7 jadvalda berilgan. Atmosferaning asosiy tashkil etuvchisi CO₂ va N₂. Umuman atmosfera juda quruq. U erdagi bo'g' qiymati 1 mkm suv qatlamiga to'g'ri keladi (Yerda 1 sm). Atmosfera bosimi atigi 6 millibar. Marsda shamollar ham kuzatiladi, lekin ularning tezliklari nisbatan kichkina - sekundiga bir necha metr. Ammo ba'zi paytlarda tezligi sekundiga 40-50 metrli kuchli shamol ko'tariladi. O'sha paytda katta chang to'zonlari kuzatiladi, ular sayoraning deyarli hamma yog'ini yopib ko'yishadi. Global chang to'zonlari faqat Marsga xos hodisa. Ular bir necha oylar davomida kezish mumkin.

Mars ikkita tabiiy yo'ldoshga ega - Fobos va Deymos. Ularni 1877 yilda amerikalik astronom Xoll ochgan. Ular sayyora sathiga juda yaqin va bira (+11,5^m va +12,5^m). Shuning uchun ularni kuzatish qiyin. Fobos markazdan 2,77 radius masofada harakatlanadi, uning aylanish davri 7h39m14s, ya'ni Marsnikidan ancha kam.

Natijada Fobos, to'g'ri harakatiga qaramay, g'arbda chiqadi. Deymos markazdan 6,96 radius masofada 30^h17^m5^s davr bilan aylanadi. Ularning sathlarida kraterlar zichligi Marsnikidan kattaroq. Ikkala yo'ldosh noto'g'ri shaklga ega. Fobosning o'lchamlari taxminan 22-25 kilometr, Deymosniki esa taxminan 13 kilometr.

5.4-§. Gigant sayyoralarning fizik tabiatlari. Ularning yo'ldoshlari va halqalari

Yuqorida aytilgandek, Yupiter, Saturn, Uran, Neptun va ehtimol Pluton gigant sayyoralari tipiga kirishadi. Bu sayyoralarni o'rganish nihoyatda qiyin, chunki ular juda uzoqda joylashishgan va erdagi kuzatuvlar etarli emas. Ularni o'rganish uchun KAlardan foydalanish kerak. KAlar sayyoralarga yillar davomida safar qilishiadi.

1972-1977 yillarda gigant sayyoralarga "Pioner-10", "Pioner-11", "Voyadger-1" va "Voyadger-2" KAlari uchirilgan.

Shuni aytish kerakki gigant sayyoralarning ikkita jufti Yupiter, Saturn va Uran, Neptun o'zaro farq qilishadi. Birinchi juftlikning o'lchamlari kattaroq va zichligi kichkinaroq. Ularning kimyoviy tarkibi Yer tipidagi sayyoralardan mutloq farq qiladi. Yupiter va Saturnda vodorod va geliyning miqdori Quyoshnikiga o'xshaydi. Boshqa elementlarning proporsiyasi ehtimol Quyoshdagidak. Uran va Neptunda og'ir elementlarning ulishi ko'proq.

Gigant sayyoralarning ichki tuzilishi ham Quyosh tizimidagi boshqa ob'ektlardan farqlanadi. 9,4 rasmda Yupiter va Uranning ichki tuzilishi modellari sxemasi ko'rsatilgan. quyida biz Yupiterning ichki tuzilishida batafsilroq qarab chiqamiz, chunki u boshqa gigant sayyoralarga nisbatan yahshiroq o'rganilgan va uning natijalarini boshqalarga interpolyatsiya qilish

mumkin. Yupiterning ichki tuzilishida eng qizig'i uning moddasining holati. U modda holatini suyuq deyish mutloq to'g'ri bo'lmaydi. Aslida Yupiterdagi vodorod va geliy yuqorikritik holata bo'ladi. Bu holatda suyuqlik va gazning xususiyatlari o'zaro farq qilishmaydi, shuning uchun bu moddaning holati "gazsimon suyuqlik" deyiladi. Bundan tashqari 25-30 ming kilometr chuqurlikda vodorod tashqi elektronlarini yo'qotib, «aynigan» bo'lib qoladi. Bu holat metallarga ham hos, shuning uchun «aynigan» vodorodni metall desa bo'ladi. Yupiterning markazidagi harorat 30 000 K. Saturnning uchki tuzilishi Yupiterga o'hshaydi. Uran va Neptun sezilarli farq qiladi, u erda toshsimon moddaning ulushi ko'proq.

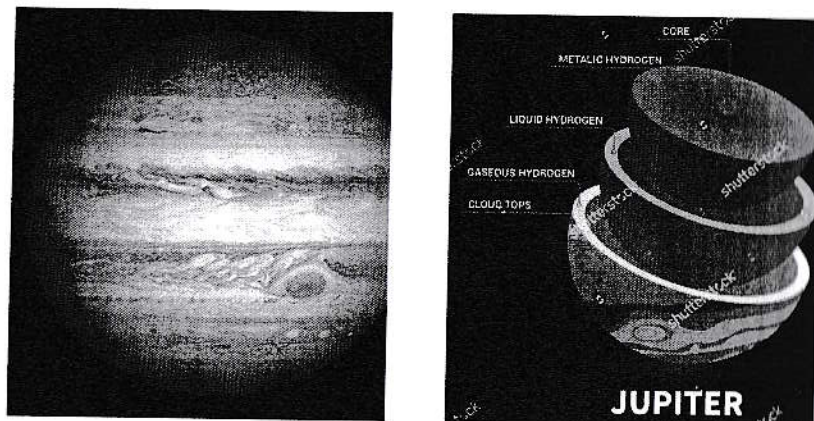
Yupiter. Bu Quyosh sistemadagi eng katta sayyora. Uning massasi Yernikidan 318 marta oshadi va Quyosh massasini 1/1050 qismini tashkil etadi. Ekvatorial radiusi Yernikidan 11,2 marta katta (71400 km). qutbiy radiusi sezilarli kamroq - 66900 kilometr, ya'ni sayyoraning siqilish darajasi katta ($\epsilon=1/16$). Yupiterning orbital va fizik xarakteristikalarini 4 va 5 jadvallarda berilgan, kimyoviy tarkibi 8 jadvalda.

Yupiter atmosferasining kimyoviy tarkibi			
Tashkil etuvchi	Protsent	ulushi	(hajm bo'yicha)
Azot, N ₂	-	-	-
Kislород, O ₂	-	-	-
Karbonad anhidrid gazi, CO ₂	-	-	-
Argon, Ar	-	~10 ⁻³	-
Neon, Ne	-	2,3·10 ⁻³	-
Geliy, He	-	16	-
Kripton, Kr	-	-	-
Kseneon, Xe	-	Qiymati aniq emas	-
Vodorod, H ₂	-	84	-
Metan, CH ₄	-	~0,02	-
Oltin gugurt oksidi, SO ₂	-	-	-
Suv bug'i, H ₂ O	-	Qiymati aniq emas	-
Ozon, O ₃	-	-	-
Is gazi, CO	-	-	-
Ammiak, NH ₃	-	~0,05	-
O'rtacha molekulyar massa	-	2,3	-

5.8-Jadval.

Yupiterning yoy diametri taxminan 40". Uning diskida ko'p sonli detallar ko'rinadi, lekin ularning birontasi barqaror emas. Ular orasida asrlar davomida kuzatiladiganlari ham bor, lekin vaqt sari ularning shakli va joylanishi o'zgarib turadi. Yupiterning "ko'rinma" sathi aslida bulut qatlamlari.

Ulardan eng yahshi ko'rinadigani - ekvator bo'yicha cho'zilgan qizil polosalar, ular zona nomli yorug' oraliqlar bilan almashishadi. Polosa va zonalar turli shakl va ko'rinishdagi dog'larga bo'linishadi. 1878 yilda 20^o kenglikda Katta qizil Dog' nomli tuzilma topildi (5.8- rasm).



5.8-rasm. Yupiter va uning tuzilishi

Quyosh singari Yupiter ham differentsial aylanishga ega. Aylanish davri kenglik kattayishi bilan oshadi. Yupiter diskidagi detallarning joylanishini ko'rsatish uchun u erda ikkita kengliklar sistemasi qo'llaniladi: I sistema ekvatorial sohalari uchun, aylanish davri $9^h50^m30^s$ va II sistema o'rta kengliklar uchun, uning davri $9^h55^m40^s$. Katta qizid Dog' II sistemada joylashgan.

Yupiter diskining yo'l-yo'l strukturasi u erdagi zonal (kengliklarga parallel) yo'nalishda sodir bo'layotgan shamollar oqibati. Shamollar paydo bo'lish mexanizmi huddi Erdagidek. Ekvator va qutblarga Quyoshdan kelayotgan issiqlik miqdori har hil, bu gidrodinamik oqimlarga olib keladi. Koriolis kuchlari ta'sirida ular zonal tomoniga og'ishadi. Yupiterning aylanish tezligi juda kattaligi sababli oqimlar ekvatorga deyarli parallel. Undan tashqari konvektiv oqimlar ichki qatlamlardan rangli moddalarni yuzaga olib chiqishadi. Bu bilan Yupiterning qizil rangi tushuntiriladi. qizil zanalar sohalari konvektiv oqimlar kuchliroq. Yer atmosferasiga o'xshab, Yupiterda ham siklonlar shakillanishadi. Ayrimlari juda barqaror bo'lishi mumkin (yashash davri $\sim 10^5$ yil). Ehtimol Katta qizil Dog' shunaqa siklonlarning namunasi. Bu dog'dan tashqari o'lchamlari kiskinaroq bo'lgan boshqa barqaror qizil dog'lar ham topilgan.

Bulutlar qatlamining yuqori qismida bosim 0,5 atm. U erdagi bulutlar amonakning kristallaridan (NH_3), pastroqda muz va suv tomchilaridan iborat. 9,8 rasmida Yupiter atmosferasining vertikal kesmasi ko'rsatilgan. Yupiterda qattiq yoki suyuq sathi yo'qligi sababli no'l sathi sifatida shartli ravishda bosimi 1 atmg teng qatlam olinadi. Bosimi 0,15 atm qatlamida chuqur minimum mavjud, undan keyin harorat oshadi. Bosimi 10^{-3} atmdan yuqori qatlamlarning harorat profili yahshi o'rganilmagan.

Yupiterning effektiv harorati $T_{ef} = 130K$ ga teng, sferik albedosi $A_{sf} = 0,50$. Sayyoraning ichki energiyasi oqimi tushayotgan energiya oqimiga taxminan teng. Ichki energiya kattaligi jihatdan Yupiter sayyoralariga qaraganda ko'prok yulduzlarga yaqin. Ammo ichki energiyaning manbasi yadro reaksiyalari emas, balki gravitatsion siqilish energiyasi zahiralari. Sayyoraning shakillanish jarayonida siqilayotgan protosayyora bulut zarrachalarining kinetik energiyasi potentsial, keyin issiqlik energiyaga aylangan.

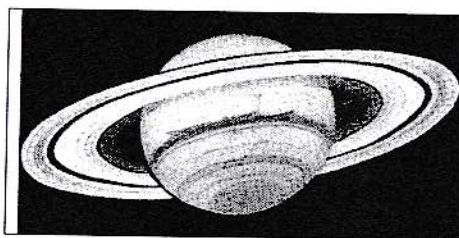
Issiqlikning katta oqimi harorat chuqurlik bilan oshishini ko'rsatadi. Nazariy modellarga ko'ra bulut qatlamidan 100 km pastroq chuqurlikda harorat 400 K, 500 km pastroq chuqurlikda esa taxminan 1200 K. Yupiterning ichki tuzilishi 9,4 rasmida ko'rsatilgan. Vodorod-geliyli almosfera 1000 km chuqurlikda gazsion suyuqlik qobiqqa o'tadi, keyin u metallashgan vodorodga aylanadi.

Yupiter ichidagi suyuqlik oqimlari ulkan magnit maydonni hosil qiladi - taxminan 10 E. Uning o'lamlari sayyoranikidan bir necha yuzmarta oshadi.

Bundan tashqari Yupiter dekametri diapazonda ($\lambda > 10m$) koinotdagi eng kuchli radio manbalaridan biri. Bu nurlanish sporadik xarakteriga ega, ya'ni alohida, turli intensivlikli radio chaqnashlardan iborat. Yupiterning sporadik nurlanishi 35MGts ($\lambda = 9m$) chastotadan yuqori kuzatilmaydi, 27 MGts chastotada esa uning intensivligi katta. Sporadik nurlanishning tabiati hali aniqlanmagan. Tahmin qilinishcha, buning sababi Yupiter atmosferasidagi kuchli chaqnashlar bo'lishi mumkin.

Ohirgi paytgacha Yupiterning atrofida 16 tabiiy yo'ldoshlar va yupqa halqasi borligi aniq edi. Ammo 1999-2000 yillarda unig atrofida yana 11 kichik yo'ldoshlar topilgan, lekin ularning parametrlari hali aniqlanmagan. Bundan tashqari 1995 y. Yupiterning orbitasiga "Galileo" nomli sun'iy yo'ldosh chiqarildi.

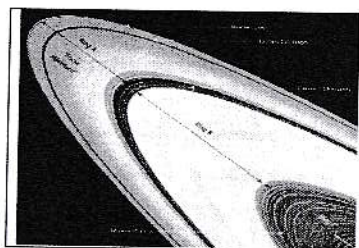
Saturn. Bu sayyora Quyoshdan Yupiterga nisbatan ikki marta uzoqroq joylashgan va Quyoshni atrofini 29,5 yilda aylanib chiqadi. Uning orbital va fizik xarakteristikalar 4 va 5 jadvallarda berilgan. Uning massasi Ernikidan 95 marta katta, erkin tushish tezlanishi $11m/s^2$. Saturnning siqilish darajasi Yupiternikidan ham katta ($\epsilon = 1/10$). Sayyoraning o'rtacha zichligi $0,7 gr/sm^3$ - Yupiter zichligidan ancha kam. Saturnning umumiy ko'rinishi 5.9- rasmida berilgan.



5.9-rasm.

Saturn va uning xalqalari/ yerdan turib chiqilgan (1962) yaxshi tasvirlardan biri.

Saturn ham Quyosh va Yupiter singari differentsial aylanishga ega. Uning ekvatoridagi aylanish davri $10^4 14^m$ va kenglik bo'ylab oshadi. Saturnning diskida polosa, zona va boshqa ingichka birliklar ko'rinadi. Lekin ularning kontrastligi yomonroq va umuman olganda uning diski yupiterga qarganda detallarga kamroq. Kimyoviy tarkibi va ichki tuzilishi bo'yicha Saturn Yupiterga o'hshaydi. Spektroskopik tadqiqotlar Saturnning atmosferasida vodorod H_2 , metan CH_4 , atsetilen C_2H_2 , etan C_2H_6 borligini ko'rsatdi, ya'ni sayyoraning 99,9% vodorod va geliydan iborat.



5.10-rasm.

"Voyadger-1" kosmik apparat yordamida Saturn yoq olingan uning xalqalari surati. A, B, C xalqalar va Kassani oralig'i o'z navbatida ko'plab ingichka xalqalarga ajralib ko'rinmoqda.

Saturnning effekti harorati 95 K. Huddi Yupiterdak, nurlanayotgan energiyaning yarmi ichki issiqlikka to'g'ri keladi. Saurt magnit maydoni (bulutlar sathida $\sim 0,5$ E) va radiatsion zonalarga ega. Undan tashqari Saturnda juda chiroyli halqalar sistemasi mavjud (5.9- va 5.10- rasmlar).

Yupiterga o'hshab Saturnda ohirgi paytgacha 17 tabiiy yo'ldosh bor deb sanalgan. 1999-2000 yillarda u Sayraning yana 12 kichik yo'ldoshlari topildi. Uran. Yuqorida ko'rilgan sayyoralarning barchasi bevosita ko'z bilan ko'rinadi va yorug' ob'ektlar qatoriga kirishadi. Uran faqat teleskopda kuzatiladi (yulduz kattaligi 5,8m) va kichkina (diametri $\sim 4''$) yashil disk bo'lib ko'rinadi. Uning massasi Ernikidan 14,6 marta katta. Radiusi 26220 kilometr. Uran sezilarli siqilishga ega ($\epsilon=1/17$). Uning o'rtacha zichligi $1,55 \text{ gr/sm}^3$, bu Yupiter va Saturnnikidan kattaroq. Tahmin qilinishicha u erda og'ir elementlarning ulushi ko'proq. Uranning boshqa karakteristikalar 5 jadvallarda berilgan.

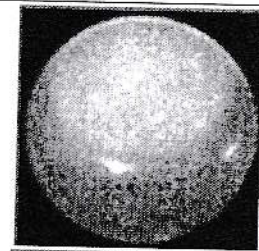
Uran sathida detellar ko'rinmaydi, lekin yorqinlik o'zgarishlari kuzatiladi. Bu o'zgarishlar orqali uning o'q atrofida aylanish davri topilgan -

17,24^h. Ekvator tekisligining ekliptikaga og'masi juda katta - 98° , ya'ni sayyora yotib olib harakatlanadi desa ham bo'ladi.

Spektroskopik tadqiqotlar Uranning atmosferasida vodorod H_2 , geliy Ne, metan CH_4 va atsetilen C_2H_2 borligini ko'rsatdi. Metanning yutilish chiziqlari spektrning qizil tomonida kuzatiladi va uning ulushi bulutlar qatlamida Yupiter va Saturnga nisbatan ko'proq. Shuning uchun Uran yashilroq bo'lib ko'rinadi. Urandagi bulutlar, tahmin bo'yicha, muzlagan metan zarrachalardan iborat. Bulutlarning harorati 55 K, bosimi bir necha atm.

5.11-rasm.

Uranning 1 mln. kilometr masofadan olingan surati. Nabbl nomli telekopdan olingan surat



1986 yilda "Voyadger-2" KA Urandan 120000 kilometr masofada o'tib ketdi va Yerga uning suratlarini yubordi (47- rasm), bundan tashqari Uranning atmosferasini va magnit maydonini tadqiq qildi. Magnit maydonning kuchlanishi 0,25 E. Magnit maydonning geometriyasi juda qiziq, magnit dipoli sayyora markazidan 6000 kilometr uzoqlikda joylashgan va 60° burchak ostida og'gan.

Uranda 21 tabiiy yo'ldoshlari va halqalar sistemasi bor. Mmm rasmda ularning nisbiy joylanishi ko'rsatilgan.

Neptun. Bu sayyora ham faqat teleskopda ko'rinadi ($+7,6^m$). Neptunning yoy diametri $2,4''$, chiziqli radiusi 24760 kilometr, massasi 17,2 Yer massasiga teng. Orbitaning yarim o'qi taxminan 30,1 a.b., Quyosh atrofida aylanish davri 165 yil. O'q atrofida aylanish davri 16,11 soat.

5.5-§. Quyosh sistemasidagi kichik jismlar. Mayda planetalar.

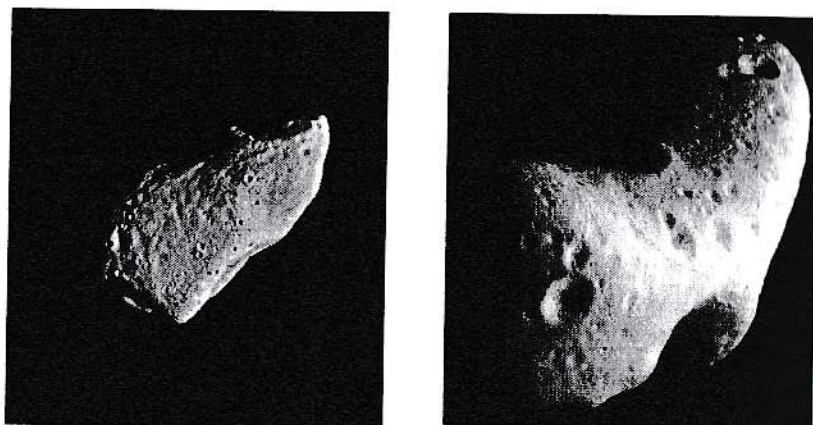
Asteroidlar va mitti sayyoralar. 1596 yili bosilgan «Kosmografiya sirlari» asaridayoq logain Kepler, Mars bilan Yupiterning orasida ham bir sayyora bo'lishi kerak degan gumon bilan chiqqan edi. Ilmiy mulohaza asosida tug'ilgan Keplerning bu gipotezasi ikki asrdan so'nggina, planetalarning Quyoshdan o'rtacha uzoqliklari orasidagi bog'lanishni

ifodalovchi ajoyib emperik munosabatning ochilishi bilan tasdiqlandi. 1772 yili Vittenberglik astronom Iogan Titsius planetalarning astronomik birliklarda ifodalangan katta yarim o'qlari, quyidagi munosabatdan oson topilishini aniqladi:

$$r = 0,4 + 0,3 \cdot 2^n \text{ a.b.}, \quad (5.14)$$

bu erda $n = -\infty, 0, 1, 2, 3, 4, \dots$ qiymatlar oladi.

Titsiusning kashfiyotidan xabar topgan berlinlik astronom Iogann Bode, bu emperik munosabatni qayta ko'rib, to'g'riligiga ishonch hosil qildi va uni keng targ'ib qilishda katta xizmat ko'rsatdi.



5.12-rasm. Asteroidlar

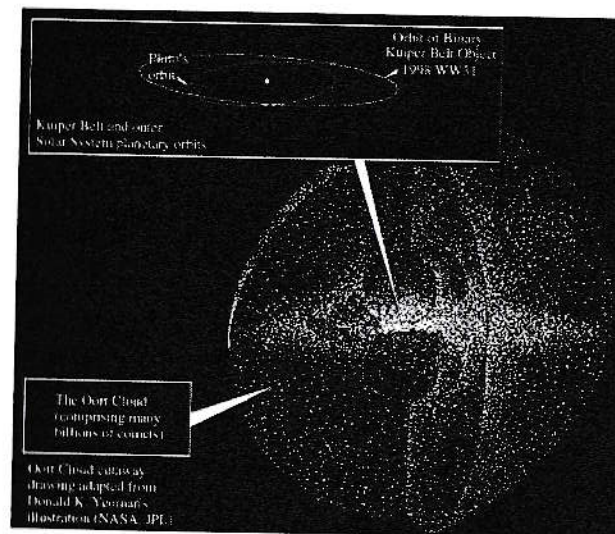
Shundan so'ng bu qonuniyat Titsius-bode qonuni nomi bilan dunyoga mashhur bo'ldi. 1781 yili Uranning topilishi va ungacha masofaning bu qonuniyatga mos kelishi, Titsius kashfiyotining obro'sini yana orttirdi.

Natijada, ko'pchilik astronomlar bu qonuniyatga ko'ra, Mars bilan Yupiterning oralig'ida, Quyoshdan 2,8 astronomik birlik masofada, yana bir planeta bo'lishiga endi shubha qilmaydigan bo'lishdi.

Bu planetani to'rt yillik tartibli qidiruvdan so'ng Palermo (Sitsiliya) observatoriyasining direktori Djuzeppa Piatssi 1801 yilning 1 yanvar kechasi Savr yulduz turkumidan topdi. Aniqlanishicha, bu osmon jismi Titsius-Bodening qonuniga to'la amal qilib, quyoshdan o'rtacha 2,8 astronomik birlik masofada joylashgan ekan. Biroq planeta o'rin aniqlangandan so'ng ham, bulutli osmon uzoq vaqtga qadar «yo'qolgan» planetani topishga imkon bermadi. Faqat bir yil o'tgach, berlinlik astronom Olbers 1801 yilning oxirgi-yangi yil kechasi planetani Sumbula yulduz turkumidan topdi. Olbers 1802 yil 28 martda Sererani kuzatayotib, uning yaqinida yana bir tanish bo'lmagan

yulduzchaga ko'zi tushdi. Ikki soatlik kuzatish, bu obyektни yulduzlar fonida siljishini ma'lum qildi. Natijada Quyosh oilasiga yana bir mayda planeta qo'shildi va u Pallada deb nom oldi. Garchi Pallada orbitasining katta yarim o'qi ham 2,8 a.b. kattalikka ega bo'lsa-da, uning orbitasining tekisligi, Yer orbitasining tekisligiga juda katta burchakka- 34° ga og'ishgan edi.

Shundan so'ng Olbers ajoyib gipotezani o'rtaga tashladi. Uning aytishicha, Mars bilan Yupiterning oralig'ida aylanayotgan yirik bir planeta, qandaydir sababga ko'ra halokatga uchragan va uning parchalari turli tomonga uchib, Quyosh atrofida, o'zaro diametral qarama-qarshi nuqtalarda kesishuvchi orbitalarda harakatlanadigan bo'lib qolgan. Hatto u orbitalarning kesishish nuqtalari Sumbula va Hut yulduz turkumlarida yotadi degan fikrni ham berdi.



5.13-rasm. Koyper belbog'i va Oort buluti

Olbers nazariyasi kutilganidan ziyod tasdiqlandi. 1804 yil 2 sentyabrda Hut yulduz turkumidan Garding, keyinchalik Yunona deb nomlangan mayda planetani, 1807 yil 29 martda esa, Olbers to'rtinchi astroid-Vestani topdi. 1845 yilga kelib 15 yillik tinimsiz izlanishlar astronomiya «ishqibozi»-pochta chinovnigi Karl Genkeni yangi astroid bilan «mukofotladi». Beshinchi bu mayda planeta Astren deb nomlandi.

Bu hodisadan so'ng mitti planetalarning ochilishi tezlashib ketdi. Keyingi o'n yilda ularning soni 36 taga, 1890 yilga kelib esa 302 taga etdi.

Dastlab mayda sayyoralar qadimgi rim afsonalarining qahramonlari, sudolari nomlari bilan yuritildi. So'ngra ularning soni juda ko'payib ketgach, ular 45-sidan boshlab, oddiy ayollarning nomi bilan, keyinroq esa

asteroidlarga Filosiya, Geometriya, Yustitsiya kabi faniy nomlar hamda geografik nomlar ham beriladigan bo'ldi.

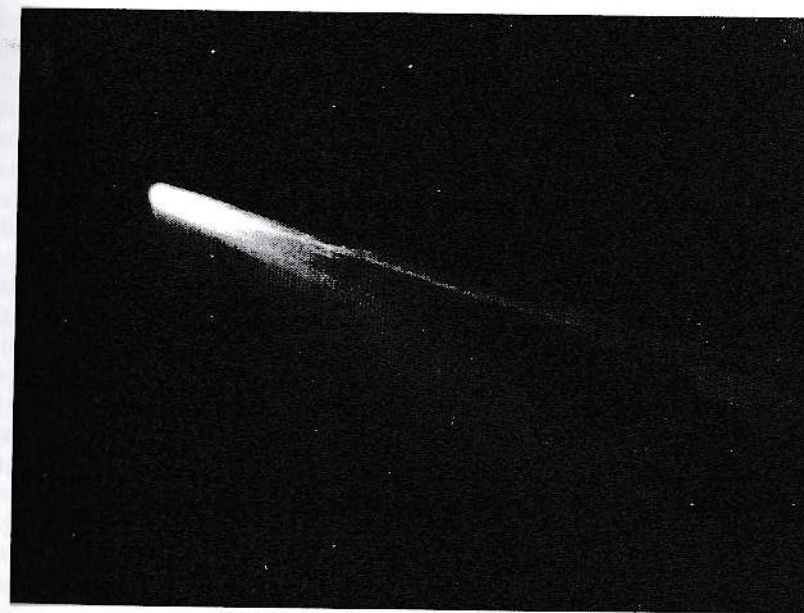
Mayda planetalarga tegishli yana bir qiziq joyi shundaki, ulardan ko'pi topilgach, orbitalani hisoblashga ulgurmay turib yo'qotib qo'yiladi. Shu xilda «yo'qolgan» mitti planetalarning soni mingdan ortiq. XX asrning birinchi besh yilligi (1901-1905 y.) oralig'ida topilgan 300 mayda planetadan 179 tasi «yo'qotib» quyildi, 1936-1940 yillar davomida topilgan 1176 astroiddan esa ro'yxatga atigi 136 tasi mustahkam yozildi.

Buni oldini olish uchun 1873 yildayoq Berlin hisoblash instituti tashkil etildi va u, to 1945 yilga qadar mitti sayyoralarni tadqiq qilish markazi bo'lib keldi. Urushdan keyin bu vazifani 1920 yilda tashkil etilgan sobiq Ittifoq Fanlar akademiyasining Leningrad nazariy astronomiya instituti o'z zimmasiga oldi. Bu institutning osmon jismlari orbitalarini hisoblashga tegishli jadvallari butun dunyo astronomik observatoriyalari tomonidan foydalaniladi.

Orbitalari hisoblanib, mayda sayyoralarning ro'yxatidan mustahkam joy olgan asteroidlarning soni hozirga kelib bir necha mingdan ortib ketdi.

Kometalar

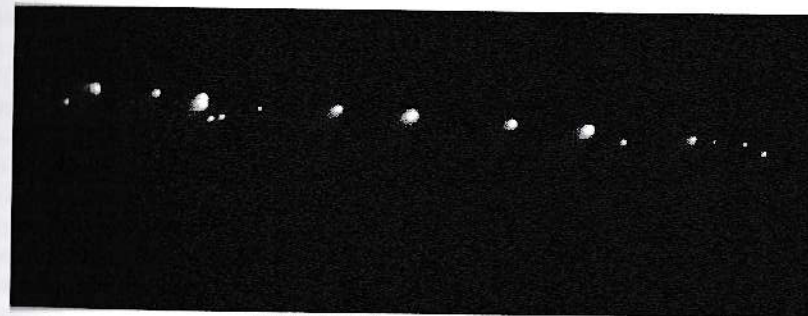
«Kometa»-yunoncha so'z bo'lib, «sochli» degan ma'noni anglatadi. Kometalarga «sochli» yoki «dumli yulduzlar» degan nom, ularning Quyosh yaqinida o'tayotgandagi ko'rinishlari asosida berilgan bo'lib, aslida harakatlari davomida ularning ko'rinishlari keskin o'zgarib boradi. Xususan kometa, Quyoshdan juda uzoq masofada bo'lganda (u paytda kometa planetamizdan ham uzoq masofada turadi), uning asosiy massasi mujassamlashgan *yadro* deb ataluvchi qismi xira yulduzcha shaklida ko'zga tashlanadi. U Quyoshga yaqinlashgan sayin yadro atrofini *koma* deyiluvchi siyrak gaz buluti o'raydi. Shuningdek, bu davrda komadan Quyoshga qarama-qarshi tomonga qarab ravshan «dum» cho'ziladi (5.14 -rasm.)



5.14-rasm. Kometaning tashqi ko'rinishi

Kometa Quyoshga yaqinlashgan sayin kometaning diametri va «dumi»ning uzunligi orta boradi. Qizig'i shundaki, diametri million kilometrgacha tartibdagi koma ham va uzunligi bir necha yuz million kilometrgacha etadigan «dum» ham kattaligi atigi bir necha kilometr keladigan yadrodan, u Quyosh haroratidan «bahramand» bo'lgach ajraladi.

Kometaning yadrosi koma bilan birgalikda uning boshi deyiladi. «Bosh» va «dum»dan tashkil topgan bu antiqa «yulduz» o'zini fanga hozirgidagidek tanishtirgunga qadar o'z ko'rinishi bilan odamlarni ko'p tashvishga solgan osmon jismlaridan hisoblanadi.



5.15-rasm. Kometaning harakati

Hatto XVII asrda G'arbda tarqalgan «Mo'jizalar tarixi» to'plamida ham «dumli yulduzlar» xudo g'azabining elchilari deb talqin qilingan. Xususan, eslatilgan «tarix»da shunday so'zlar bitilgan edi. «Kometa baxtsiz hodisalarning aniq belgisi bo'lib xizmat qiladi. Har doim kishilar Oy tutilishini, kometani ko'rishgach, Erni qimirlashi, suvni qonga aylanishi va shunga o'xshash baxtsizliklar ro'y berib, shundan so'ng ko'p o'tmay esa dahshatli voqealar - qon to'kishlar, odam o'ldirishlar, buyuk monarxlarning o'limi, sotqinliklar, imperiya va qirolliklarning barbod bo'lishi, ochlik, qimmatchilik, xullas bir so'z bilan aytganda, insoniyatni baxtsizlik o'z iskanjasiga oladi. Shuning uchun ham hech kim qiyomat va dahshatli suron yaqinlashayotganligidan, aniqrog'i, ostonada turib eshik qoqayotgandan darak beruvchi samoning bu elchilari va mo'jizalariga shubhalanmasligi kerak».

Yaqin-yaqin yillargacha ham kometa baxtsizlik elchisi deyidiganlar topilib turardi. Fanda esa salkam XVI asrning oxirlariga qadar, kometalar Yer atmosferasining yashil yoki qutb yog'dusi kabi hodisalardan biri deb qaralar edi. 1577 yili mashhur daniyalik amaliy tadqiqotchi, astronom Tixo Brage kometalar-planetalar orasida harakatlanuvchi osmon jismlari ekanligini astronomik kuzatishlar asosida tasdiqladi. Shundan so'ng ko'p o'tmay, XVII asrning boshlarida I.Kepler va G.Galiley «dumli yulduzlar» Quyosh sistemasini to'g'ri chiziqli bo'ylab kesib o'tadi va keyin unga butunlay qaytmaydi deb taxmin qildilar.

Kometa ko'rinishlarining o'zgarishida uning harakat traektoriyasini o'rganish muhim rol o'ynaydi. Bu borada Tixo Brage va Keplerdan so'ng taniqli polyak astronomi Geveliyning xizmati katta bo'ldi. Kometalar haqidagi tadqiqotlari asosida Geveliy kometalarning traektoriyasi egri chiziqdan iboratligini aniqladi. 1681 yili Georg Derffel kometalarning orbitalari parabola ko'rinishida bo'lib, uning fokusida Quyosh turishini aniqladi. Biroq kometalar harakatining parabolik orbitalar bo'ylab kuzatilishini buyuk ingliz fizigi Nyuton isbot qildi.

Kuzatilgan barcha kometalarning orbitalarini boshqa bir ingliz olimi Nyutonning shogirdi Edmund Galley hisobladi. U 1337 yildan 1698 yilgacha davrda kuzatilgan 24 kometa haqida ma'lumot yig'ib, ularning orbita elementlari aks etgan katalogni 1705 yilda nashr qildirdi.

Qizig'i shunda ediki, bu kometalardan uchtasining, aniqrog'i 1531, 1607, 1682 yillarda kuzatilganlarining orbita elementlari deyarli bir xil bo'lib chiqdi. Bu hol tasodifiy emasligiga qattiq ishongan E.Galley 1705 yilda shunday yozadi: «1531 yili Apian tomonidan kuzatilgan kometa, 1607 yilda Kepler va Longomontan tomonidan va 1682 yili men o'zim kuzatgan kometaning o'zi bo'lishi kerak degan fikr menga tinchlik bermaydi. Bu uchala kometaning elementlari aniq mos keladi, to'g'ri, ularning davrlarida ozroq farq bor, biroq uni fizik sabablar deb bo'lmaydi. Shuning uchun ham men bu kometaning 1758 yili qaytib kelishini ishonch bilan ayta olaman. Agar u qaytib kelsa, u

holda boshqa kometalarning ham Quyosh yaqiniga qaytib kelishlariga shubha qolmaydi».

Olim ko'p yanglishmagan edi. Galley bashorat qilgan «dumli yulduz» 1759 yilning 12 martida perigeliydan o'tdi. Kometani hammadan oldin-1758 yilning 25 dekabrda Drezden atrofida yashovchi dehqon-astronomiya ishqibozi G.Palich ko'rdi. Fransiyada birinchi bo'lib kometani Parijdagi Dengiz observatoriyasining xodimi Messe 1759 yilning 21 yanvarida kuzatdi.

Shunday qilib, Galleyning bashorati qoyilmaqom bo'lib tasdiqlandi. Bu esa, o'z navbatida, Nyutonning tortishish qonunini haqligini isbotladi. Natijada, Quyosh sistemasining a'zosi ekanligi tasdiqlangan kometa, uning kashfiyotchisi sharafiga Galley deb ataladigan bo'ladi.

Hozirgi zamon kometa astronomiyasining asoschisi, ulug' rus tadqiqotchisi F.A.Bredixin XIX asrning ikkinchi yarmida, barcha asosiy kometa hodisalarini tushuntira oladigan ixcham mexanik nazariyani yaratdi. Bredixin «dumli yulduzlar» bulutli massalarining harakatiga tegishli itariluvchi tezlanishlarni bevosita aniqlashga imkon beruvchi metodlarni birinchi bo'lib ishlab chiqdi. Natijada Quyoshning kometaga ta'sir etuvchi tortishish kuchidan bir necha marta ortiq kattalikka ega bo'lgan itarish kuchi ham borligi topildi. Dastlab taniqli olim Sellner bunday kuchni quvvatli zaryadlangan Quyosh ta'siridan deb tushuntirdi. Bu fikrni keyinchalik Bredixin ham quvvatladi. Biroq hisoblashlar, Quyosh bu qadar quvvatli zaryadlangan osmon jismi bo'la olishini inkor etgach, nurlarning moddiy jismlarga ta'siri asosida kometa dumlarining yo'nalishini boshqacha tushuntirishga imkon tug'ildi. XIX asrning o'rtalaridayoq Maksvell, nurning oqimi uning yo'liga qo'yilgan to'siqqa bosim bilan ta'sir qilishini ko'rsatdi. Biroq bu bosimning miqdori nihoyatda kichik bo'lib, uni tajribada ko'rsatish juda katta san'at talab qilar edi. 1900 yili rus olimi N.N.Lebedev tomonidan bunday nozik tajriba qoyilmaqom qilib bajarildi. Ma'lum bo'lishicha, nurning bosimi haqiqatdan ham mavjud bo'lib, faqat massiv jismlarga uning ta'siri deyarli bilinmas ekan. Biroq siyrak gaz molekulalari yoki mayda chang zarrachalariga bo'lgan uning bosimi sezilarli darajada katta ekanligi aniqlandi.

Nurning bunday bosimiga tayanib, siyrak kometa dumidagi bug'larning Bredixin bashorat qilgan itaruvchi kuchlar to'g'risida Quyoshdan teskari tomonga cho'zilishini tushuntirish qiyin emas. O'tgan asrlarga tegishli o'nlab va XIX asrning hamma yorug' kometalarini tadqiq qilib, Bredixin ajoyib natijalarga erishdi. Ma'lum bo'lishicha, kometalarning dumlari Quyosh nurlari bosim kuchining o'rtacha miqdoriga ko'ra to'rt tipga bo'linar ekan. Uning hisoblashiga ko'ra, 1 tipga kiruvchi dumlar ingichka to'g'ri chiziqli bo'yicha cho'zilib, nurning bosimi tufayli maydonga kelgan itarish kuchlari, Quyoshning tortishish kuchlaridan qariyb 20 marta ortiqlik qiladi. II tipdagilarda esa dum yorug', keng va bir oz egilgan ko'rinishda bo'lib, tortishish kuchi teng yoki undan atigi bir necha martagina kuchli bo'lgan itarish kuchlari ta'sirida vujudga keladi. III tipga kiruvchi kometa dumlarida zarrachalar nisbatan kam tortishish kuchlari ta'sirida Quyoshga tomon

harakatlanadi. Bunday dumlar odatda juda kalta bo'lib, Quyoshga nisbatan qarama-qarshi yo'nalishga kattagina burchak ostida yo'naladi. Anomal dumlar deyiluvchi IV tipga Quyoshdan emas, aksincha Quyoshga qarab yo'nalgan dumlar kiradi. Anomal dumlar Quyosh nurlari ta'sirida bo'lmaydigan zarralardan tashkil topgan bo'lishi yoki ba'zan kometa dumining kuzatuvchiga nisbatan ma'lum sharoitda proeksiyalanishi asosida shunday ko'rinishi mumkin.

1950 yilga qadar 1000 ga yaqin kometa qayd qilindi, shulardan 400 ga yaqini teleskoplar ixtiro qilingunga qadar, qolganlari esa teleskoplar yordamida ochildi.

1972 yil nashrdan chiqqan amerikalik Brian Marodenning kometalarning orbitalarining to'la katalogida 2058 yil ichida (eramizdan oldin 86 yildan 1972 yilgacha) kuzatilgan 924 kometa haqida ma'lumot beriladi. Boshqa bir astronom Boldenning «Kometa do nachala 1948 goda» kitobida esa 1619 ta kuzatilgan «dumli yulduzlar» haqida ma'lumot keltirilgan. Agar 1948 yildan to 1072 yilgacha kuzatilgan kometalarning bu songa qo'shilsa, kuzatilgan kometalarning soni 1834 taga etadi. Albatta ularning ichida qurollanmagan ko'z bilan kuzatilganlari juda kam miqdorni tashkil qiladi.

Quyosh sistemasida harakatlanuvchi «dumli yulduzlar», kattaliklari va massalariga ko'ra unda qanday o'rin tutadi? Bu o'rinda fransuz olimi Babinening kometalarning haqida «ko'rinadigan hech narsa» deb bergan bahosidan aniqroq bir narsa deyish qiyin. Darhaqiqat, kometalargacha masofa aniq bo'lganda hisoblangan. Ularning bosh qismining diametri 50 mingdan 250 ming kilometrgacha etadi. 1811 yilda topilgan kometaning boshi, kattaligi jihatidan Quyoshdan o'zib ketdi. 1892 yilda kuzatilgan tumanli Xolms kometasi «boshi»ning diametri esa, Quyoshnikidan ikki baravar katta chiqdi. 1941 yilda topilgan boshqa bir kometaning boshi, B.A.Voronsov-Velyaminovning o'lchashicha 2 million kilometrga, ya'ni bir yarim Quyosh diametriga teng ekanligi aniqlandi. Odatda kometa uning yadrosida yuqorida keltirilgan molekulalar birikmalaridan tashqari bu xildagi metallar ham borligidan darak beradi.

Kometaning dum qismiga tegishli spektr esa, bu qismda ionlashgan karbonat anhidrid (SO_2), is gazi (SO) va azot molekulalari (N_2) borligini ma'lum qiladi.

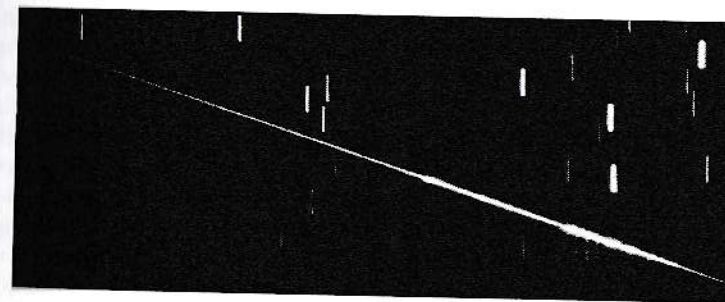
Kometalar qaerda tug'iladi? Bu savol kometalarning masalasida hali to'la echilmagan, jumboqlarga boy savollardan hisoblanadi. Birinchi bo'lib bunday savolga javob berishga Laplas harakat qildi. U o'zining «Olam sistemasining bayoni» asarida kometalarning, «...tumanliklarning tashkil etgan moddalaridan vujudga kelib, Quyosh sistemasiga tashqaridan keladi» deb yozgan edi.

1929-30 yillarda rus olimi S.K.Vsexsvyatskiy qisqa davrli kometalarning har navbatdagi ko'rinishlarida ravshanliklarining o'zgarishi asosida ularning yoshi bir necha o'nlab yildan bir necha yuzlab yilgacha bo'lishi mumkinligini aniqladi. Bu dalillar esa o'z navbatida, qisqa davrli kometalarning Yupiter sistemasining chegarasida tug'ilishidan darak beradi. Natijada o'z tadqiqotlari

asosida S.Vsexsvyatskiy qisqa davrli kometalarning, Yupiter yoki uning yo'ldoshlaridan uloqtirilgan materiyadan tashkil topadi degan gipotezani o'rta qo'ydi. Xuddi shu xildagi nazariya, o'tgan asrning 80-yillarida ingliz astronomi R.Proktor, asrimizning boshlarida esa boshqa bir ingliz olimi A.Krommelin tomonidan ilgari surilgan bilan qiziq. Biroq, deyarli parabolik orbitaga ega bo'lgan uzun davrli kometalarning paydo bo'lishini bunday gipoteza asosida tushuntirib bo'lmayligi, ular Quyosh sistemasiga tashqaridan kelganligi haqidagi gipotezani qabul qilishni taqozo qiladi.

Golland astronomi Y.Oort yaqinda o'tkazilgan o'z tadqiqotlari asosida kometalarning manbai Quyosh sistemasini o'rovchi va chegarasi Quyoshdan qariyb 20 ming astronomik birlikka qadar yotuvchi ulkan hajmli kometa bulutlaridir, degan xulosaga keldi. Ko'pchilik «dumli yulduzlar»ning orbitalari perigeliylarining Quyoshdan va Erdan juda uzoqdaliklari tufayli ko'rib bo'lmaydi. Bunday o'ta uzun davrli kometalarning doimo muzlagan holatda bo'lganliklaridan o'z gazlarini planetalararo bo'shliqqa deyarli sarflamaydilar va shuning uchun ham milliardlab yillar yashashlari mumkin. Biroq, yaqin joylashgan yulduzlar va Quyosh sistemasini planetalarining ta'sirida bunday kometalarning perigeliyi kichik masofali orbitalarda harakatlanadigan bo'lib qolishlari mumkin. «Dumli yulduz»larning ayrimlari esa, bunday ta'sir oqibatida, Quyosh sistemasini butunlay tashlab ketadigan boshqa-parabolik orbitalarga o'tib ketishlari ham mumkinligini hisoblashlar ko'rsatadi.

Tunda chiroyli iz qoldirib uchgan «yulduzlar»ni kim ko'rmagan deysiz? Biroq, bu «uchar yulduz»larning yulduzlarga hech aloqasi yo'q bo'lib, aslida ular-osmonning «daydi» mayda tosh zarrachalardir (kattaliklari millimetrning ulushlarida, massalari esa milligramlarda o'lchanadi). Erga yaqinlashgach, ular sayyoramiz atmosferasiga sekundiga 10 kilometrdan 70-100 kilometrgacha tezlik bilan kiradilar. Shubhasiz, bunday katta tezlikdagi tosh-zarrachasi atmosfera molekulalari bilan ishqalanib cho'g'lanadi va uchish davomida juda tez emiriladi. Fanda *meteorlar* deb yuritiluvchi «uchar yulduzlar» yo'lining uzunligi, bu osmon jismlarining kattaliklari bilan bog'liq bo'lishi o'z-o'zidan tushunarli.



5.16-rasm. Meteorlar yomg'iri

Meteor zarralar qanday vujudga keladi, ularning manbalari qaerda? degan tabiiy savol tug'iladi. Gap shundaki, ayrim kometalar Quyosh sistemasining boshqa osmon jismlaridan farq qilib, vaqt o'tishi bilan parchalanadilar. Kometa har dafa Quyosh yaqinidan o'tayotib, yadrosiga tegishli bir qism gazni yo'qotadi. Bu gazlarning zonasi chegaralangan-ligini e'tiborga olsak, ma'lum davrdan so'ng «dumli yulduz»lar boshsiz va dumsiz qolishlarini tushunish qiyin bo'lmaydi. Perigeliydan o'tayotgan kometaning dumsiz va komasiz bo'lishi uning «qariligi»dan darak beradi. Ma'lum kometa qancha vaqtdan so'ng o'z yadrosidagi gazni sarflab bo'lishini hisoblash mumkin bo'lib, xuddi shu xildagi hisoblashni rus olimi S.V.Orlov Galley kometasi uchun bajardi. Uning hisoblashlariga ko'ra, bu kometa Quyosh atrofida 330 marta aylangandan so'ng, yana qariyb 25 ming yildan so'ng gaz zapaslaridan ajralajagini ko'rsatdi.

Astronom S.K.Vsexsvyatskiy o'z tadqiqotlari asosida, davriy kometa har dafa Quyosh yaqinidan yangidan o'tayotganda, uning ravshanligining kamayishini aniqladi. Bunday fakt ham, nisbatan qisqa vaqt ichida kometaning gaz zapasi kamayib ketishidan darak beradi. Aslida kometa gaz zapasidan ajralgandan keyin ham changli dum hosil qilib «sochli» degan nomni anchaga oqlab yuradi. Kometaning butunlay parchalanib ko'zdan yo'qolishi, boshqa bir jarayonning-mexanik parchalanishning oqibatida bo'ladi. Mexanik parchalanish, Quyosh yaqinidan o'tayotgan juda ko'p kometalarda kuzatilgan. Xususan, 1946 yilda kuzatilgan Biela kometasi Quyosh yaqinidan o'tayotib ikki bo'lakka ajralgan. Navbatdagi 1857 yili ko'rinishida, bu bo'laklarning biri ikkinchisidan ikki million kilometrga uzoqlashgan va shundan keyin to shu paytgacha, har qancha urinishlarga qaramay, bu kometa hech kim tomonidan kuzatilmagan. 1872 yili mazkur kometaning Erga juda yaqin oraliqda o'tish paytida, kometa o'rniga kuchli «meteor yomg'iri» kuzatilgan.

1950 yil olim D.D.Dubyago parchalangan kometa yadrolarining meteor oqimlarining vujudga kelishidagi rolini chuqur o'rganib chiqdi. Uning hisob-kitobining ko'rsatishicha, kometa yadrosini tashlab qochgan meteor zarralarining buluti, Quyosh beradigan ko'tarilish kuchi ta'sirida ham cho'zilib, ham kengaya boradi va bir necha ming yillardan so'ng kometa orbitasi bo'ylab bir tekis taqsimlanib qoladi. Parchalangan kometa-larning qoldiqlari kelgusida meteor oqimlarini tug'dirish faktlarida yaxshi tasdiqlanadi. Buning uchun parchalangan kometa orbitasi va yillik davr bilan kuzatiladigan meteor oqimlarini solishtirish kifoya. Shunday solishtirish natijasida har yili avgust oyida kuchayadigan «meteor yomg'iri» (Perseid meteor oqimi) «1862 III» deb nomlangan parchalangan kometa yadrosining zarrachalari ekanligi aniqlandi. Mashhur Galley kometasi ham ikkita-Orionid va may oyida kuzatiladigan Akvarid yulduz turkumlarida meteor oqimlarini vujudga keltirdi. Shu xildagi «meteor yomg'iri»dan o'nga yaqini fanga ma'lum.

Ba'zan samoning «daydi» toshlari ancha katta bo'lib, Yer atmosferasi qatlamidan o'tayotganda yonib ulgurmaydi va bolid ko'rinishida Yer sirtiga tushadi (52-rasm). Ular meteoritlar degan nom bilan yuritiladi. Meteoritlar asosan toshdan, temirdan, tosh-temirdan hamda muzdan iborat bo'ladi. ha, yanglishmadik, qisman muzli meteoritlar ham Erga tushib turadi.

Tarixda kishilar bir necha bor osmon jismlarining Erga «tashrif» buyurgan «vakili» muzdan iborat bo'lganini ko'rishgan. Xuddi shunday hodisadan biri yaqinda Kiev viloyatida kuzatildi: 1970 yilning 8 mayida Yagotina shahrida bulutsiz ochiq havodan kattagina muz parchasi erga urilib, bir necha bo'lakchalarga parchalanib ketdi. Bo'laklarning umumiy og'irligi 15 kilogrammga etdi.

Buyuk Karl zamonasining qo'lyozmalaridan birida esa osmondan kattaligi sal kam uydek keladigan muz parchasi tushganligi haqida yoziladi. 1908 yili Sibir taygasiga «mehmon» bo'lgan boshqa bir osmon jismining nimadan iborat bo'lganligini aniqlash, olimlar orasida o'n yillab cho'zilgan tortishuvga sabab bo'lib, hozirgacha ham siriligini saqlamoqda.

Sibir «mehmoni», Podkamennaya Tunguska daryosining o'ng qirg'og'ida joylashgan Vanovare qishlog'idan yuz kilometrcha shimoliy-g'arbga ertalab, Quyosh bir oz ko'tarilganda «tashrif» buyurdi.

Erni kuchli larzaga solib planetamizga «qadamranjida» qilgan bu osmon jismi keyinchalik Tungus meteoriti nomi bilan fanda keng tanildi. Hisoblashlarning ko'rsatishicha, planetamizga yiliga 500 dan ortiq bunday toshlar «tashrif» buyuradilar. Biroq, Yer yuzining qariyb 70 protsenti suv bilan qoplanganligini e'tiborga olsak, bu toshlardan 350 ga yaqini dengiz va okean tublaridan joy olib, izsiz yo'qolishlari ma'lum bo'ladi. Qolgan quruqlikka tushadigan 150 toshning hammasi ham aholi yashaydigan joylar atrofiga tushavermaydi albatta, shuning uchun osmon «mehmonlari»ni ko'rish har kimga ham nasib bo'lavermaydi.

1947 yilning 12 fevral kuni boshqa bir osmon toshi Sixote-Alinsk meteoritining tushishining guvohi - Uzoq sharqdagi Iman shaharchasida istiqomat qiluvchi rassom Medvedev bo'ldi. Uning ma'lum qilishicha, olov shar, orqasidan burqsigan tutundan iz qoldirib va turli tomonlarga uchqunlar sochib, katta tezlik bilan gorizont tomonga uchdi. Olov shar gorizontdan yo'qolgandan so'ng u tomondan juda kuchli portlash tovushi eshitildi. Keyingi yillarda bu temir meteoritni o'rganish yuzasidan uyushtirilgan ilmiy ekspeditsiyalar, bu «osmon mehmoni» Yer sirtiga tushishdan oldinroq havoda parchalanganini va uning parchalaridan hosil bo'lgan voronkalar bir necha kvadrat kilometrli maydonni egallaganini aniqlashdi. hosil bo'lgan voronkalarining diametri 60 santimetrdan 28 metrgacha bo'lib, ulardan topilgan meteorit bo'laklarining og'irligi

1 kilogrammdan 70 kilogrammgachani tashkil qildi. hisoblashlar meteorit bo'laklarining umumiy og'irligi 100 tonnadan kam emasligini ko'rsatdi!

Birinchi bo'lib osmondan tosh tushishi mumkinligini Peterburg Fanlar akademiyasining muxbir a'zosi E.F.Xladniy o'zining 1794 yilda bosilib chiqqan «Pallas tomonidan topilgan temir bo'lagining kelib chiqishi va u bilan bog'liq tabiat hodisalari haqida» asarida ilmiy asosladi. E.F.Xladniy Krasnoyarsk o'lkasiga tushgan temir meteoritni uzoq vaqt o'rganib, u «osmon mehmoni» ekanligiga to'la ishonch hosil qiladi va yuqorida eslatilgan ilmiy asarni yozish bilan meteoritikaga birinchi bo'lib asos soldi.

Osmon toshlarining erga tushishi juda qadimdan kuzatilgan bo'lib, bu toshlar xudoning erlilarga in'omi deb qaralar va muqaddas hisoblanardi. Shunday samo «mehmon»laridan biri 1514 yili Germaniyaga tushgan tosh bo'lib, u tushgan joyi yaqinida joylashgan cherkovga o'rnatilgan va qayta «osmonga uchib ketmasligi» uchun temir zanjirlar bilan bog'lab qo'yilgan. Bu cherkov ham xudojo'ylar uchun muqaddas qadamjoga aylangan.

Yerga tushib turadigan bu toshlar qaerdan keldi? degan savol tug'iladi. Gap shundaki, osmonda turli kattalikka ega bo'lgan bu xil toshlar ming-minglab topilgan bo'lib, ular ham planetalar kabi Quyoshning atrofida aylanadi. Ularning ichida turli orbitalilari bilan birga, orbitalari yagona bo'lganlari ham ko'plab uchraydi. Xususan parchalangan kometa («dumli yulduz») orbitasida minglab turli kattaliklardagi osmon jismlari ham uchraydi. Orbitasi bo'ylab harakatlanayotgan bunday mayda jismlar Yer yaqinidan o'tayotib, uning kuchli ta'siriga beriladilar va o'z «yo'llari»ni planetamiz tomon burishga majbur bo'ladilar.

Meteorit Yerga urilganda, uning tezligiga bog'liq ravishda turli kattalikdagi o'ralar hosil qiladi. O'raning chuqurligi, urilish joyining yumshoqligiga ham bog'liq, albatta. 1871 yil 10 dekabrda Bandunga (Yava) yaqinidagi sholi maydoniga tushgan meteoritning og'irligi 8 kilogramm bo'lib, erga 1 metrgacha kirib ketgan. 1910 yilning 12 iyulida Sant-Mixel (Finlandiya) yaqiniga tushgan osmon toshining og'irligi esa, 10 kilogramm bo'lib, yarim metr chuqurlikdagi o'rani hosil qilgan. 1948 yili Norton (Kanzas shtati) shahri yaqinidagi makkajo'xori maydoniga tushgan osmon jismlari «vakili»ning og'irligi bir tonnaga yaqin bo'lib hosil qilgan o'rasining chuqurligi uch metrga etdi.

Garchi meteoritlar Yer atmosferasiga sekundiga o'nlab kilometr tezlikka ega holda kirsalarda, havoning katta qarshiligi, ularni tezda «hovuridan tushiradi». hisoblashlarning ko'rsatishicha, erga urilish paytida ularning o'rtacha tezligi sekundiga 200-300 metrni tashkil qiladi. K.P.Stanyukovich, tezligi sekundiga 4 kilometrgacha bo'lgan toshlarning erga urilishi portlash bilan tugashini ilmiy asosladi. Portlagan meteorit urish joyida krater (havza) hosil qilib, uning parchalari, bir necha kilometrgacha otilib ketadi. Tezligi sekundiga 4 kilometrdan ortiq bo'lgan osmon toshining Erga urilishidan ajralgan energiya, har qanday shunday massali portlovchi moddadan ajralgan (portlash paytida) energiyasidan bir necha marta ortiq bo'ladi. Bunday katta tezlik bilan uriluvchi meteorit energiyasining bir qismi uni to'la bulg'atib yuborishga sarf bo'lsa, qolgan qismi krater hosil qilish va tuproqni isitishga

ketadi. Bunday katta tezlikka erishuvchi meteoritning massasi juda katta (taxminan 100 tonna) bo'lishi hisoblashlardan ma'lum. Shuning uchun ham massasi 100 tonnadan ortiq osmon «mehmon»larini erda topib bo'lmaydi, ular «avtograf» sifatida Erda ulkan kraterlargina qoldiradilar. Meteorit hosil qilgan bunday yirik kraterlardan biri Arizona shtatida (AQSh) topilgan bo'lib, uning diametri 1300 metrga, chuqurligi esa 175 metrga etadi. Bu krater meteorit tushgandan bir necha ming yil keyin topilishi diqqatga sazovordir.

1891 yili bir gruppamerika olimlari Arizona shtati bo'ylab safarga chiqishdi va sahro o'rtasida juda katta voronkaga duch kelishdi. Voronka atrofida 10 kilometrgacha masofaga uloqtirilgan qoya toshlarining topilishi, voronka tuprog'i bir qismini ezib kukunga aylantirilganini va boshqa bir qismini eritib qotishmaga aylantirilgani olimlar tomonidan krater portlash tufayli vujudga kelgan degan xulosani tug'ilishiga asos bo'ldi. Olimlar halokat ro'y bergan bu joydan ko'p uzoqda bo'lmagan joyda istiqomat qilgan qadimda mashhur hind qabilalari avlodlaridan surishtirib, krater atrofi zonasini Alvasti darasi deyilishini va afsonalarga ko'ra «u erga bir vaqtlar xudo o'z olov aravasida tushganini» aniqladilar. Shundan so'ng olimlar krater-osmon toshining «ishi» degan gumon bilan uning atrofini qidirishdi. Natijada kraterdan va hatto o'ndan o'nlab kilometrgacha masofada meteorit bo'laklarini topishdi. Minglab topilgan meteorit parchalarining umumiy og'irligi 20 tonnadan ortiq chiqdi!

Bunday yirik meteorit hosil qilgan kraterlardan yana biri Texas shtatida topildi; uning diametri 162 metr bo'lib, chuqurligi 5 metrni tashkil qiladi. Krater va uning atrofi maydonidan qariyb bir yarim ming temir meteorit parchalari topilgan.

1031 yili Avstraliyaning Xenberi cho'lida meteoritlar «yomg'iri»dan hosil bo'lgan 13 krater topildi. Ulardan eng kattasining diametri 165 metr bo'lib, chuqurligi 15 metrga etadi. Kraterlar gruppasi maydonidan qariyb bir yarim ming meteorit bo'laklarining topilishi va mahalliy aholi orasida tarqalgan «qoya ortida yonib tushgan Quyosh» afsonasi, bu kraterlar osmon toshlari «bombardirovka»sining oqibati ekanligidan darak beradi. Topilgan toshlarning og'irligi bir necha kilogrammdan yarim tonnagacha keladi.

Tabiatning bunday ajoyib hodisalarida «bosh rol» ijrochisi sifatida ishtirok etgan o'nlab yirik meteoritlar planetamizning turli burchaklarida muzey eksponatlari qatoridan o'rin olgan. Chixuaxuada (Meksika) topilgan Morita deb nomlangan to'g'ri konus shaklidagi meteoritning og'irligi 11 tonna bo'lib, hozir Mexikoda saqlanadi. Argentinaning Kampo-del-S'elo («Yulduzli maydon») maydonida topilgan osmon «vakili»ning og'irligi 13 tonnani, Amerikaning tabiyot tarixi muzeyida saqlanayotgan 1902 yili Oregon o'rmonlaridan topilgan Villamette temir meteoritining og'irligi 14 tonnani tashkil qiladi. Sinszyan (Xitoy) viloyatining Armanti shaharchasi yaqiniga tushgan meteoritning og'irligi 20 tonna, Tanganikaga tushgan Mbozi ismli boshqa meteoritning bo'yi 4 metr chamasi bo'lib, eni va qalinligi 120 santimetrdan, og'irligi esa 25 tonna. Meksikaning Sinapoa shtatiga tushgan

osmon toshi ham boshqalaridan qolishmaydi. Uning bo'yi rosa 4 metrni, eni qariyb 2 metrni, qalinligi esa 1 metru 60 santimetrni tashkil qilib, og'irligi 27 tonnadir. g'arbiy Grenlandiyaga tushgan meteorit Erga urilganda parchalanib ketdi. 1897 yili Nyu-Yorkka keltirilgan va Keyi-York deb yuritiladigan bu meteorit uchta katta bo'laklarining og'irligi 30 tonna («Palatka»), 3 tonna («Ayol») va 408 kilogramm («lt»)ni tashkil qiladi.

VI BOB. YULDUZLAR FIZIKASI ASOSLARI

6.1.§ Normal yulduzlar

Yulduzlar – Koinotda eng ko'p tarqalgan va Koinotning 98 foiz massasini o'zlariga jamlab olgan obyektlardir. Yulduzlarning asosiy xususiyatlarini ularning massasi, yorqinligi va radiuslari aniqlaydi.

Yulduzlar o'zlarining turli-tumanliklari bilan ajralib turadilar. Ularning orasida umumiy xususiyatlarga ega bo'lganlarini alohida gruppalariga ajratishimiz mumkin. Bunday ajratishlar barcha yulduzlarni o'rganishimiz uchun qulaylik yaratadi. Ayniqsa ularni ichida yo'ldoshlarga, pulsatsiya, chaqnashlarga va hakoazolarga ega bo'lganlari qiziqarli. Bunday yulduzlar ko'pincha nostatsionar yulduzlar deb yuritiladi. Ularda bo'lgan yoki bo'layotgan hodisalarni o'rganish, bizga Koinotning umumiy holatini tasavvur qilishimizga imkoniyat yaratadi. Yuqoridagi xususiyatlarga ega bo'lmagan yulduzlar normal yulduzlar deyiladi. Tabiiyki biz yulduzlarni o'rganishni normal yulduzlardan boshlaymiz.

Yulduzlar qadim zamonlardayoq o'zlarining ko'rinma ravshanligiga qarab yulduz kattaliklari bo'yicha sinflarga bo'lingan. Eng yorug' yulduzlar 1-kattalikdagi, keyingilari 2-kattalikdagi va hakoza deb atalgan. Oddiy ko'zga ko'rinadigan eng xira yulduzlar 6-kattalikdagi yulduzlardir. Keyinchalik bunday bo'linish oddiy ko'z bilan ko'rib bo'lmaydigan teleskopik yulduzlar sohasida ham davom ettirildi. Hozirgi zamon eng katta teleskoplar yordamida oddiy ko'z bilan kuzatilganda 18-kattalikkacha bo'lgan yulduzlarni, fotosuratga olganda 23-kattalikkacha bo'lgan yulduzlarni ko'rish mumkin. Yulduz kattaliklari m harfi bilan belgilanadi (masalan 15^m - bu 15-yulduz kattaligi).

Yulduzlarni kattaliklarga bo'lish oldin ixtiyoriy hisoblangan bo'lsada, u kishi ko'zining nurlarni qabul qilishi bilan bog'liq bo'lgan aniq asosga ega. 1-kattalikdagi yulduzlar o'rta hisobda 2-kattalikdagi yulduzlardan necha marta yorug' bo'lsa, 2-kattalikdagi yulduzlar ham 3-kattalikdagi yulduzlardan shuncha marta yorug' va hokazo. Shuni hisobga olsak, ketma-ket kattalikdagi yulduzlarning ravshanligi geometrik progressiyani tashkil etadi. Ketma-ket turgan ikki sinf ravshanligining nisbati (ya'ni, progressiyaning maxraji) taxminan 2,5 ga teng. 1-kattalikdagi yulduzlarning ravshanligi 6-kattalikdagi yulduzlarning ravshanligidan deyarli 100 marta kattadir. Shuning uchun progressiya maxrajining kattaligi $\sqrt[3]{100} = 2.512$ ga, bu sonning logarifmi esa 0,4 ga teng bo'ladi. Bu yulduz kattaligidan ularning ravshanligiga o'tishni juda osonlashtiradi. Masalan, yorug'roq yulduzning kattaligi n, xiraroq yulduzniki m bo'lsin (m>n); ular ravshanliklari I_n va I_m nisbati

$$\frac{I_n}{I_m} = 2,512^{m-n}$$

(6.1)

Bu ifodani logarifmlasak va $\lg 2,512 = 0,4$ ekanligini e'tiborga olsak,

$$\lg \frac{I_n}{I_m} = 2,512^{m-n} \quad (6.2)$$

Yoki

$$m - n = 2,5 (\lg I_n - \lg I_m) \quad (6.3)$$

Yulduzlarning ravshanligini yanada aniqroq baholash uchun oraliq bo'limlar kiritilgan; bunda yulduz kattaliklari o'nli kasr ko'rinishidagi bo'limlarga bo'lingan. Eng yorug' yoritgichlar uchun manfiy sonlar ishlatiladi. Masalan, osmondagi eng yorug' yulduz Siriusning yulduz kattaligi $-1^m,58$ ga teng. Shimoliy yarim sharning eng yorug' yulduzi Vega taxminan $0^m,1$ yulduz kattaligiga ega. Quyoshning yulduz kattaligi $-26^m,8$ deb qabul qilingan (to'linoyning yulduz kattaligi o'rta hisobda $-12^m,6$).

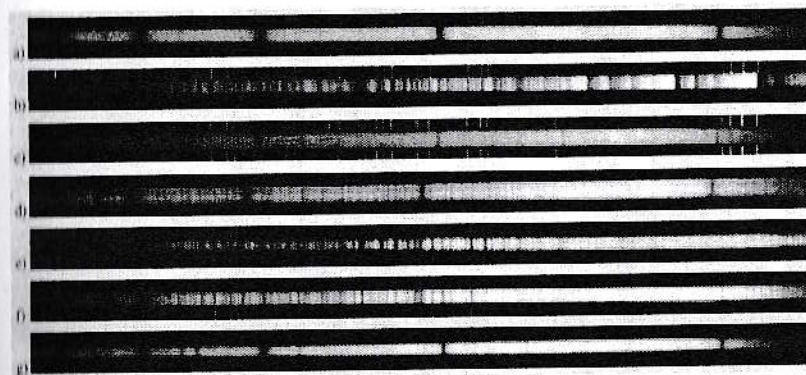
Yulduzning osmondagi vaziyati uning α va δ koordinatalari bilan aniqlanadi. Yulduzning asbob yordamida bevosita o'lchangan koordinatalarini dastavval asbobning xatolaridan ozod qilish kerak; u vaqtda yulduzning kuzatilgan vaziyati hosil bo'ladi. Topilgan koordinatalarni refraksiya va sutkalik aberratsiya ta'siridan ozod qilib yulduzning ko'pinma koordinatalari deb ataluvchi koordinatalarini hosil etamiz; yulduzning ana shunday koordinatalar bilan aniqlanadigan vaziyati uning ko'rinma o'rni deyiladi.

Yulduzning ko'rinma koordinatalari hamma vaqt ikki sababga ko'ra o'zgarib turadi: 1) aberratsiya tufayli yulduz yil davomida kichkina ellips chizadi; 2) pretsessiya va nutatsiya tufayli tug'ri chiqishni hisob boshi bo'lgan bahorgi tengkunlik nuqta va og'ishlarni o'lchashda asos qilib olingan ekvator hamma vaqt siljib turadi. Shuning uchun hisoblashlarda: a) yulduz koordinatalarini aberratsiya ta'siridan qutqaziladi (yulduzni aberratsion ellips markaziga o'tkaziladi); va b) turli kunlarda aniqlangan yulduz koordinatalarini tengkunlik nuqtasi va Qutbning ma'lum bir vaziyatiga keltiriladi. Odatda bunday vaziyat sifatida kuzatish yilining boshi olinib, hisoblashni «yilning boshiga keltirish» deyiladi. Yulduzning ana shu usulda topilgan vaziyati yilning boshiga keltirilgan o'rta o'rni deyiladi. Ko'pincha yulduzning turli vaqtlarda aniqlangan, ammo bir ma'lum yilning boshiga keltirilgan o'rta koordinatalari vaqtga proporsional ravishda ham o'zgaradi; bu shu yulduzning sezilarli darajada o'ziga xos harakati borligidan dalolat beradi.

6.2-§ Yulduzlarning spektral sinflari

Ma'lumki, yulduzlarning spektri, asosan yutilish spektri bo'lib, faqat ayrimlarining spektridagina nurlanish (emission) chiziqlar kuzataladi. Yulduzlarning spektrini solishtirish, ularning spektrlari bo'yicha sinflarga bo'lishga asos beradi. Yulduzlarning spektridagi asosiy farq, asosan spektral chiziqlarning qanday elementlarga tegishligi, ularning soni va intensivligi hamda mazkur spektrda energiyani taqsimlanishi bilan belgilanadi.

Spektrlarda energiyani taqsimlanishi va ma'lum atomlarning spektral chiziqlarining soni hamda intensivligi bilan bir-biriga o'xshash yulduzlarni ayrim sinflarga bo'lish, asrimizning boshlarida Garvard observatoriyasi xodimlari tomonidan boshlanib, hozirgi spektral sinflashtirishning asosini tashkil etadi. Onkirin yo'l bilan yulduzlarning spektral sinflarda ma'lum ximik elementlarni chiziqlari ravshanligini bilgan holda, boshqa biriniki xiralashib borishi ma'lum ketma-ketlikda joylashtirish imkonini tug'iladi. Bu esa, o'z navbatida, bir biriga o'xshash spektrlarni ma'lum spektral sinflarga birlashtirish imkonini beradi.



6.1-rasm. Spektral chiziqlarning turlari

Yulduzlarning spektral sinflari lotin alfaviti harflarida quyidagi ketma-ketlik ko'rinishida beriladi: O, B, A, F, G, K va M. Ma'lum spektral sinfga kiruvchi yulduzlar spektrlari bir-biridan nozik farqlanishlariga ko'ra 0 dan 9 gacha davom etuvchi sinfchalarga bo'linadi. Masalan: O0, O1, O2, ..., O9 yoki A0, A1, A2, ..., A9 va hokazo.

O sinf. Temperaturasi 25-50 ming gradusgacha boruvchi ko'k yulduzlar spektrlari ultrabinafsha oblastning inrensivligi juda yuqori bo'lib, geliy, karbon, kremniy, azot va kislorod atomlarining ko'p marta ionlashgan chiziqlari juda intensiv spektrda, normal geliy, vodorod atomlarining xira chiziqlari uchraydi.

V sinf. Ko'kish-ok rangli yulduzlar, temperaturasi 15-25 ming gradus atrofida bo'ladi. Neytral geliy chiziqlari eng intensiv, vodorod chiziqlari spektrda aniq ko'rinib, ayrim ionlashgan atomlarning xira chiziqlari ko'zga tashlanadi. Sunbulaning α si shu sinfga kiradi.

A sinf. Rangi oq. Sirt temperaturasi 14 ming gradusgacha boradi. Vodorodning chiziqlari maksimal intensivlikka erishadi. Ionlashgan kaliyning N va L chiziqlari ko'rinadi. Vega, (Liraning alfasi) va Sirius (Katta ayiqning alfasi) shu tipga kiruvchi yulduzlardir.

F sinf. Sarg'ish-oq rangli yulduzlar temperaturasi taxminan 7,5 ming gradus. Vodorod chiziqlarining intensivligi kamaya boshlagan. Kalsiyning ionlashgan (N va K) va neytral chiziqlari hamda metallarning (temir, titan) chiziqlarining intensivligi orta boshlaydi. Tipik yulduz – Protsion (Kichik ayiqning alfasi).

G sinf. Rangi sariq, temperaturasi 6000°K. Vodorodning chiziqlari xiralashgan. Metal chiziqlari yaqqol ko'rinadi. Ionlashgan kalsiyning N va K chiziqlari intensivligi maksimumga erishadi. Quyosh shu sinfga kiradi.

K sinf. Rangi qizg'ish (oranjeviy), temperaturasi 5000° atrofida. Bu sinfga kiruvchi yulduzlarning spektrida metal chiziqlarining intensivligi maksimumga erishadi. Spektrning ultrabinafsha qismiga tegishli nurlanishning intensivligi sezilarli kamayadi. Bu sinfga kiruvchi tipik yulduzlarga Arktur (Ho'kizboqarning alfasi) va Aldebaran (Sarvning alfasi) lar kiradi.

M sinf. Rangi qizil, temperaturasi 2000-1500°K. Spektrida metall chiziqlari juda kuchsiz bo'lib, asosan molekulyar polosalar bilan qoplangan. Ayniqsa titan oksidiga tegishli polosalar kuchli. Bu sinfning tipik yulduzi Betelgeyze (Orionning alfasi) hisoblanadi.

Yuqorida keltirilgan yulduz sinflari asosiy sinflar hisoblanib, bo'lardan tashqari G va K sinflardan tarmoqlanuvchi qo'shimcha sinflar ham mavjud. Bulardan birinchisi G' sinfdan tarmoqlanib, uglerodli yulduzlar deyiladi va sinfi S bilan belgilanadi. Bu sinfga kiruvchi yulduzlarning spektri K va M sinfga kiruvchi yulduzlarning spektridan atomlarga tegishli yutilish chiziqlari va uglerod molekularining yutilish polosalarining borligi bilan farqlanadi. Ikkinchisi esa, K sinfdan tarmoqlanib, sinfi S bilan belgilanadi. Bu sinfga kiruvchi yulduzlar M sinfdan titan oksidi (TiO) polosalari o'rnida sirkoniy oksidi (ZrO) polosalarining borligi bilan farqlanadi.

Agar ma'lum spektral sinfga kiruvchi yulduz qo'shimcha ba'zi xossalarga ega bo'lsa, u holda uning bu xossasi biror harfiy ifoda bilan belgilanadi. Xususan, agar yulduz spektrida emission chiziqlar kuzatilsa, uning sinfini

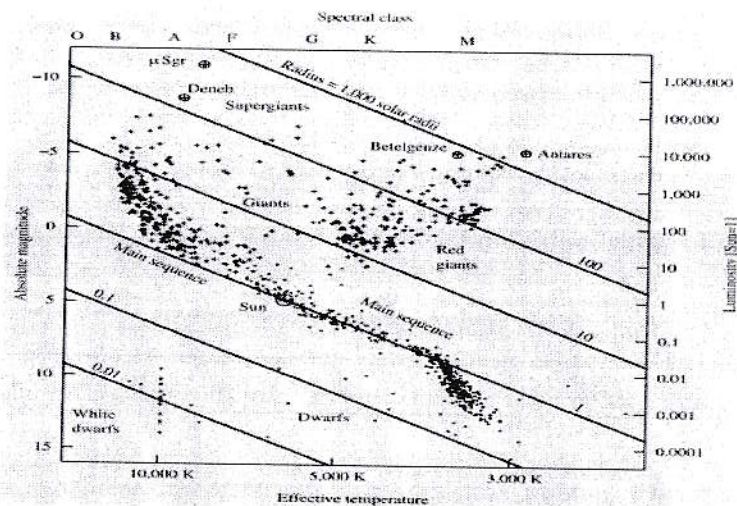
ifodalovchi harf yoniga e harfi quyidagicha qo'shib qo'yiladi: 06e. Bu spektrida emission chiziqlar bo'lgan 06 sinfga kiruvchi yulduzni ifodalaydi. O'tagiant yulduzlar spektrida uchraydigan ingichka timqora chiziqlarda esa spektral sinfi oldiga s harfi qo'shib qo'yiladi: sF0. Ma'lum spektral sinf uchun tiniq harakatda bo'lmagan yulduzning boshqa xossalari r harfi belgilanadi va u, odatda, yulduzning spektral sinfidan keyin, masalan A3r va hokazo.

6.3-§. Spektr-yorqinlik diagrammasi

Yulduzlarning bir-biri bilan o'zaro bog'langan fizik xarakteristikalarini ikki gruppaga ajratish mumkin bo'lib, birinchi gruppaga yulduzning temperaturasi, rang ko'rsatgichi va spektral sinfi, ikkinchi gruppaga esa massasi va yorqinligini kiritish mumkin. Har bir gruppadagi ma'lum biror parametr, shu guruhga kiruvchi boshqa parametrlarni aniqlashga imkon beradi. Garchi bir qarashda bu ikki guruhga parametrlar orasida bog'lanish yo'qdek tuyulsada, aslida ular orasida ham bog'lanish borligi ma'lum bo'ladi. Bunday bog'lanishni birinchi bo'lib asrimizning boshida daniyalik astronom Gersprung va amerikalik astrofizik Resselar aniqlashdi. Ular bir biridan bexabar holda yulduzlarning yorqinliklari va spektral sinflari orasidagi bog'lanishni xarakterlovchi grafikni oldilar. Ma'lum bo'lishicha agar koordinata o'qlaridan biri yulduzlarning spektral sinflari, ikkinchisi bo'yicha esa absolyut yulduz kattaliklari qo'yilganda, yulduzlar diagrammani bir tekis to'ldirmay, bir necha gruppaga ajralgan holdagi grafik ko'rinishda namoyon bo'ladi. Bunday diagramma *spektr-yorqinlik* yoki *Gersprung-Ressel diagrammasi* deb nomlanadi. Spektr-yorqinlik diagrammasida yulduzlarning absolyut yulduz kattaliklari o'rnida, logarifmik shkalada yorqinliklarini, spektral sinflari o'rnida esa, rang ko'rsatgichlarini yoki effektiv temperaturalarini olish mumkin.

Gersprung-Ressel diagrammasi umumiy fizik tabiatga ega bo'lgan yulduzlar gruppasini ajratishga, ularning temperaturasi, yorqinligi, spektral sinfi, absolyut kattaliklari kabi parametrlari orasidagi bog'lanishlarni aniqlashga imkon beradi.

Bu diagrammada yulduzlarning asosiy qismi bosh ketma-ketlik deyiluvchi egrilik bo'ylab joylashib, uning chap qismida ravshanligi yuqori bo'lgan boshlang'ich spektrga tegishli yulduzlar joylashadi va o'ng tomonga borgan sayin yulduzlarning yorqinliklari (binobarin temperaturalari) pasaya borib, keyingi sinflarga tegishli yulduzlar diagrammadan joy oladi.



6.2- rasm. Spektr-yorqinlik diagrammasi

Bosh ketma-ketlik egriligidan yuqorida nisbatan past temperaturali biroq diametri juda katta va shuning uchun ham katta yorqinlikka ega bo'lgan absolyut yulduz kattaliklari -4^m , -5^m o'tagigant va gigant (absolyut yulduz kattaliklari 0^m atrofida) yulduzlar joylashadi. Diagrammaning quyi qismida, boshlang'ich spektral sinflariga ega bo'lgan nisbatan kam yorqinlikka ega bo'lgan mitti yulduzlar joylashadi.

Diagrammada yulduzlarning bir tekis taqsimlanmasligi, ularning yorqinliklari va temperaturallari orasida sezilarli bog'lanish borligidan darak beradi. Bu bog'lanish, ayniqsa, bosh kattalikka tegishli yulduzlarda yaxshi aks qiladi. Biroq yulduzlarning yorqinliklari va spektral sinflari orasidagi bog'lanishni e'tibor bilan o'rganish diagrammada bosh ketma-ketlikdan boshqa yana bir necha ketma-ketliklarining ochilishiga olib keladi. Mazkur ketma-ketliklar yorqinlik sinflari deb yuritiladi va I dan VII gacha rim raqamlari bilan belgilanadi. Bu raqamlar esa, o'z navbatida, yulduzning spektral sinfidan keyin qo'yiladi.

Yulduzlarning qabul qilingan bu klassifikatsiyasi MKK (Morgan, Kinan, Kelman) deb yuritiladi.

Yorqinlik sinflari bo'yicha yulduzlar quyidagicha taqsimlanadi:

I sinf – o'tagigantlar. Bu yulduzlar Gersprung-Ressel diagrammasining tepa qismidan joy olib, bir necha ketma-ketliklarga (I_{ao} , I, I_{ab} va I_b) bo'linadi.

II sinf – ravshan gigantlar;

III sinf – gigantlar;

IV sinf – subgigantlar;

V sinf – bosh ketma-ketlikning yulduzlari;

VI sinf – ravshan subkarliklar. Bosh ketma-ketlikdan taxminan bir yulduz kattaligiga farq qilib, uning ostidan o'tadigan ketma-ketlikdir.

VII sinf – ok mitti yulduzlar. Diagrammaning quyi qismidan joy oluvchi yulduzlardir.

Biror yulduzni ma'lum yorqinlik sinfiga tegishligi, spektral sinfning maxsus belgilari orqali aniqlanadi. Masalan o'tagigantlarning spektri, spektrida keng chiziqlari bo'lgan ok mitti yulduzlarnikidan farq qilib, ingichka hamda konturi juda chuqur spektral chiziqlarga ega bo'ladi. Ma'lum spektral sinfga tegishli mitti yulduzlarning shunday spektral sinfdagi gigantlardan farqi shunday mitti yulduzlarning spektrida ayrim metal chiziqlari gigantlarnikiga nisbatan kuchsiz bo'lgani holda, boshqa metallarga tegishli chiziqlar intensivliklariga ko'ra juda kam farq qiladi.

Yulduzlarning spektral sinflari, yorqinlik sinflari bilan qo'shib o'rganilganda, yulduzlarning absolyut kattaliklarini aniqlashga imkon beradi. Yulduzlarning aniqlangan absolyut yulduz kattaliklari esa, o'z navbatida, yulduzlarga masofani aniqlashga imkon beradi.

Yulduzlar yorqinligini ularning spektridagi ayrim chiziqlarning ravshanligiga empirik bog'liqligiga asoslangan yulduzlarga masofalarini aniqlash metodi spektral parallaks metodi deb yuritiladi.

Spektral parallaks metodining trigonometrik metodlardan afzalligi shundaki, spektral parallaks juda uzoqdagi spektrlarini olish mumkin bo'lgan yoritgichlarni ham uzoqligini aniqlashga imkon beradi.

6.4-§. Yulduzlar massasi

Alohida yulduzning massasini bevosita aniqlash mumkin bo'lmay, faqat qo'shaloq yulduzlarning tashkil etuvchilarini birgallikda olingan massalarini ularning harakatlarini o'rganish asosida hisoblash mumkin. Buning uchun Keplerning Nyuton tomonidan aniqlashtirilgan uchinchi qonunidan foydalaniladi:

$$\frac{T_a^2(M_a + M_b)}{T_b^2(M_b + m_b)} = \frac{a_a^3}{a_b^3} \quad (6.4)$$

bu erda M_a , M_b – mos ravishda asosiy va yo'ldosh yulduzlarning massalarini; $M_\odot$, $m_\oplus$ – esa Quyosh va Yer massalarini xarakterlaydi.

$M_{\odot} \gg m_{\oplus}$, $T_{\odot} = 1$ yil, $a_{\oplus} = 1$ a.b. deb, Yo'ldosh yulduzning aylanish davri yillarda, orbitaning katta yarim o'qini astronomik birliklarda ifodalasak (6.1) ifoda quyidagi ko'rinishni oladi:

$$M_a + M_{\oplus} = \frac{a_{\oplus}^3}{T_{\oplus}^2} \quad (6.5)$$

(6.2) ifoda bilan hisoblanganda, yulduzlar komponentalarining massasi Quyosh massasi birligida chiqadi.

Agar qo'shaloq sistemaga kiruvchi yulduzlarning massa markaziga nisbatan holatini alohida belgilashni va natijada ularning katta yarim o'qlarining burchagiy o'lchamlarini alohida aniqlashning imkoni bo'lsa, u holda ularning massalarining munosabatlarini ushbu ifoda yordamida aniqlash mumkin:

$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{a_2}{a_1} \quad (6.6)$$

Garchi alohida olingan yulduzlarning massalarini aniqlash mumkin bo'lmasada, biroq spektr-yorqinlik diagrammasidan alohida o'rin olgan ayrim yulduzlar gruppasi uchun ularning yorqinliklari va massalari orasida bog'lanish borligi empirik yo'l bilan aniqlangan. Xususan, bosh ketma-ketlik egriligidan o'rin olgan ko'pchilik qo'shaloq yulduzlarning komponentalari uchun quyidagi bog'lanish o'rinli bo'ladi

$$L_b = M_*^{3.9} \quad (6.7)$$

Ushbu ifodadan ko'rinishicha, bosh ketma-ketlikning tepa qismida eng massiv yulduzlar joylashib, pastga yo'nalgan sayin yulduzlarning massasi kamayib boradi.

6.5-§. Yulduzlar o'lchamlarini aniqlash. Massa-yorqinlik-radius bog'liqligi

Elementar matematika kursidan ma'lumki, kuzatuvchidan aniq masofada joylashgan jismining burchagiy o'lchami ma'lum bo'lsa, uning chiziqli o'lchamini hisoblash ortikcha qiyinchilik tug'dirmaydi. Binobarin, agarda yulduzning burchagiy diametri d ma'lum bo'lsa, bu yulduzgacha masofa r aniq bo'lganda uning D diametrini ham osongina hisoblash mumkin. Buning uchun ushbu formuladan foydalaniladi:

$$d = \sin d'' \cdot r \quad \text{yoki} \quad d = \frac{d'' \cdot r}{206265} \text{ nc} = 74,8 \cdot 10^6 d'' \cdot r \quad \text{km} \quad (6.8)$$

Biroq yulduzlar juda uzoq masofada joylashganliklaridan eng yirik teleskoplar bilan ham ularning burchagiy o'lchamlarini aniqlab bo'lmaydi. Faqat maxsus yulduzlar interferometr deb yuritiluvchi teleskoplar yordamida atigi bir necha o'nlab yulduzlarning burchagiy o'lchamlarini va bu asosda ularning chiziqli o'lchamlarini aniqlash mumkin.

Ma'lum yulduz radiuslarini aniqlashning boshqa bir usuli uning bolometrik yorqinligi L_{bol} va effektiv temperaturasi T_{ef} ga tayanadi. Ma'lum yulduzning 1 kv.sm yuzasi hamma yo'nalish bo'yicha nurlanish energiyasi uning effektiv temperaturasi bilan quyidagicha bog'lanishda bo'ladi:

$$\varepsilon = \sigma T_{\oplus}^4 \quad (6.9)$$

U holda yulduzning to'la sferik sirtidan chiqayotgan nurlanish oqimi, yulduz sirti $S = 4\pi R_*^2$ bo'lganidan:

$$L_* = 4\pi R_*^2 \cdot \sigma \cdot T_{*}^4 \quad (6.10)$$

Bu ifodani Quyosh uchun tadbiq qilinsa

$$L_{\odot} = 4\pi R_{\odot}^2 \cdot \sigma T_{\odot}^4 \quad (6.11)$$

(6.10) va (6.11) tenglamalarning mos tomonlarini o'zaro bo'lsak

$$\frac{L_*}{L_{\odot}} = \left(\frac{R_*^2}{R_{\odot}^2} \right) \left(\frac{T_{*}^4}{T_{\odot}^4} \right) \quad (6.12)$$

Yoki

$$\frac{R_*}{R_{\odot}} = \left(\frac{T_{\odot}}{T_{*}} \right)^2 \sqrt{\frac{L_*}{L_{\odot}}}$$

$$\lg \frac{R_*}{R_{\odot}} = 2 \lg \frac{T_{\odot}}{T_{*}} + \frac{1}{2} \lg \frac{L_*}{L_{\odot}}$$

logarifmlasak

Odatda yulduzlarning radiusi va yorqinliklari Quyosh radiusi va yorqinliklari birligida ($R=1_{\odot}$, $L=1_{\odot}$) ifodalanganidan

$$\lg R_* = 2 \lg \frac{T_{\text{eff}}}{T_{\text{eff} \odot}} + \frac{1}{2} \lg L_* \quad (6.13)$$

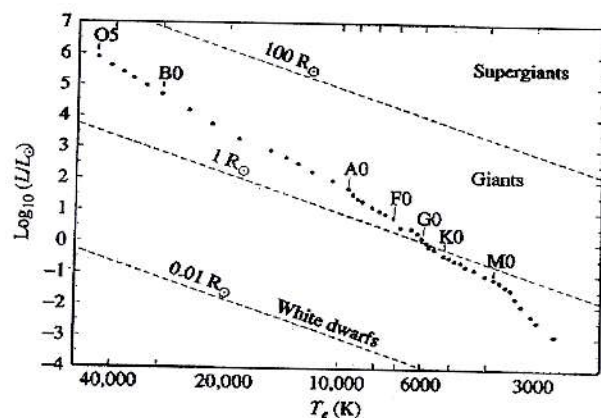
ko'rinishda yozish mumkin.

Yulduzlarning absolyut bolometrik kattaliklari M_b ma'lum bo'lsa, yulduzlarning chiziqli o'lchamlari ularning effektiv temperaturalariga ko'ra quyidagicha topiladi.

$$\lg R_* = 8,470 - 0,2 M_b - 2 \lg T_{\text{eff}} \quad (6.14)$$

Yulduzlarning diametri Ernikiidan yuzlab marta kichik (neytron yulduzlar) va Quyoshnikidan ming martagacha katta (o'tagiant yulduzlar) bo'lgan oraliqlarda uchratish mumkin. Bosh ketma-ketlik egriligida joylashgan ko'pchilik yulduzlar uchun yulduzlarning yorqinliklari va radiuslari orasidagi ushbu bog'lanish empirik yo'l bilan aniqlanadi: $L_b \approx R^{5.2}$.

Yulduzlarning spektral sinfi (temperaturasi) va yorqinliklari orasidagi bog'lanishdan tashqari ularga tegishli asosiy fizik kattaliklar – yorqinlik, effektiv temperatura va radius orasidagi bog'lanish borligi (6.13) dan ham bizga ma'lum. Binobarin yulduzlarning radiusi va spektral sinfi (temperaturasi) orasidagi bog'lanish mavjud. Bunday bog'lanish diagrammada aks qilish uchun Gersprung-Ressel diagrammasidagi vizual – absolyut yulduz kattaligi M_v o'rniga logarifmik shkalada absolyut bolometrik yulduz kattaligi M_b , spektral sinflar o'rniga unga mos logarifmik shkaladagi effektiv temperaturani kuyamiz. Bunday diagrammada bir xil radiusga ega bo'lgan yulduzlar bir to'g'ri chiziqli bo'yicha joylashadi, chunki (6.13) ifodadan ko'rinishicha $\lg L$ va $\lg T_{\text{eff}}$ o'zaro chiziqli bog'langandir.



6.3-rasm. Massa-Yorqinlik diagrammasi

6.3-rasmda shunday diagramma tasvirlangan bo'lib, unda bir xil radiusli yulduzlar joylashadigan to'g'ri chiziqlar aks ettirilgan.

Bordiyyu yulduzlarning yorqinliklari va massalari orasidagi bog'lanishni ifodalovchi formula, boshqa sinflarga kiruvchi yulduzlarning yorqinliklari uchun ham o'rinli deb qaralsa, unda spektr-yorqinlik diagrammasida massalari ma'lum yulduzlarni joylab, ular asosida bir xil massali yulduzlarning ham o'rinlarini belgilash mumkin bo'ladi.

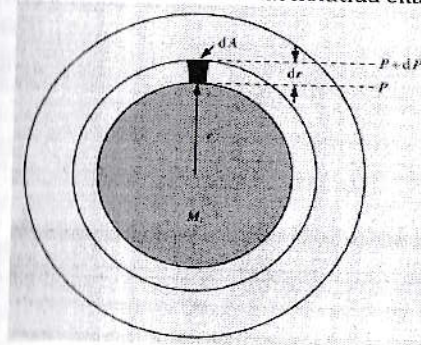
Shunday qilib 6.3-rasmda ifodalangan diagramma spektr-yorqinlik diagrammasidan yana ham to'raligi bilan farq qilib, yulduzlar holatining diagrammasi sifatida qaralishi mumkin.

Xususan bunday diagramma yulduzlarning evolyusiyasi haqida, hamda evolyusiya tufayli uning asosiy fizik parametrlarining o'zgarish tendensiyasi haqida qimmatli ma'lumotlarni berishi mumkin.

6.6-§. Yulduzlarning ichki tuzilishi

Yulduz ichidagi muvozanatning matematik shart-sharoitlarini massa taqsimotini, gaz bosimini, yulduzdagi energiya ajralib chiqishi va ko'chishini ifodalovchi to'rtta differensial tenglama yordamida ifodalash mumkin. Ana shu tenglamalarni chiqaraylik.

Gidrostatik muvozanat. Og'irlik kuchi yulduzdagi materialni markazga tortadi. U gaz molekulalarning issiqlik harakati tufayli yuzaga keladigan bosim kuchiga qarama-qarshi yo'nalgan. Muvozanatning birinchi shartidan ushbu ikkala kuch muvozanat holatida ekanligi kelib chiqadi.



6.4-rasm. Hidrostatik muvozanatdagi hajm birligiga ta'sir etayotgan bosim va gravitatsion kuchlarning yig'indisi nolga teng

Yulduz markazidan r masofada joylashgan hajmning silindrik elementini olib ko'raylik (6.4 rasm). Ushbu elementning hajmi $dV = dA dr$, bu erda dA uning asosi, dr – balandligi; uning massasi $dm = \rho dA dr$, bu erda $\rho = \rho(r)$ – radius r bo'yicha gazning zichligi. Agar radius r ichidagi massa M_r bo'lsa, unda hajm birligidagi og'irlik kuchi

$$dF_g = -\frac{GM_r dm}{r^2} = -\frac{GM_r \rho}{r^2} dA dr \quad (6.15)$$

bo'ladi, bu erda G – gravitatsion doimiy. Ushbu ifodadagi minus ishorasi kuch yulduz markaziga yo'nalganligini bildiradi. Agar hajm birligidagi taq sirtida bosim R , yuqori sirtida $P + dP$ bo'lsa, unda elementga ta'sir etayotgan jami kuch

$$dF_p = PdA - (p + dP)dA = -dPdA \quad (6.16)$$

ga teng bo'ladi.

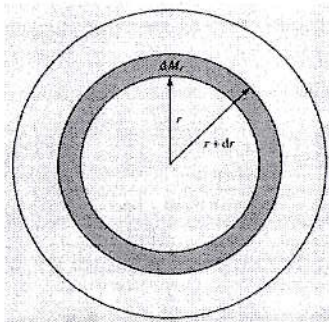
Tashkariga yo'nalgan sari bosim kamayib borganligi uchun dP manfiy, dF_p esa, musbat bo'ladi. Muvozanat sharti shundan iboratki, hajm birligiga ta'sir etayotgan jami kuch nolga teng bo'lishi lozim, ya'ni:

$$0 = dF_g + dF_p = -\frac{GM_r \rho}{r^2} dA dr - dPdA$$

Yoki

$$\frac{dP}{dr} = -\frac{GM_r \rho}{r^2} \quad (6.17)$$

Ushbu ifoda gidrostatik muvozanat tenglamasidir.



6.5- rasm. Yupqa sferik qobiqning massasi uning hajmi va zichligiga bog'liq bo'ladi

ixtiyoriy energiya uning sirtigacha etishi va nurlantirilishi lozim. Yana, r radius ichida dM_r joylashgan va qalinligi dr bo'lgan sferik qobiqni olib ko'raylik (6.6 rasm). Energiya oqimi L_r bo'lsin, ya'ni, vaqt birligida r sirtidan

Massa taqsimoti. Ikkinchi tenglama berilgan radius ichidagi massani beradi. Markazdan r masofadagi va qalinligi dr bo'lgan sferik qobiqni olib ko'raylik (6.5- rasm). Uning massasi $dM_r = 4\pi r^2 \rho dr$ ga teng bo'lib, massa uzluksizligini beradi:

$$\frac{dM_r}{dr} = 4\pi r^2 \rho \quad (6.18)$$

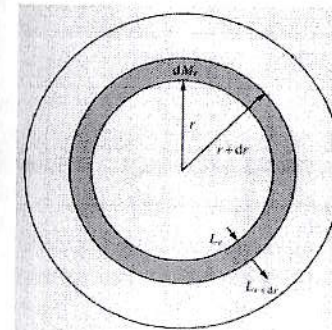
Energiya ajralishi. Muvozanatning uchinchi sharti energiya saqlanishini talab etadi, bundan, yulduzda ajralgan

o'tayotgan energiya miqdori bo'lsin. Agar yulduzda vaqt va massa birliklarida ajralgan energiya miqdori, ya'ni, energiya ajralish koeffitsienti ϵ bo'lsa, unda

$$dL_r = L_{r+dr} - L_r = \epsilon dM_r = 4\pi r^2 \rho \epsilon dr$$

Shunday qilib, energiya saqlanish tenglamasi

$$\frac{dL_r}{dr} = 4\pi r^2 \rho \epsilon \quad (6.19)$$



6.6 rasm. Sferik qobiqdan oqib o'tayotgan energiya qobiqning o'zidan oqayotgan va qobiqning ichida ajralayotgan energiyalarning yig'indisiga teng

nurlanishga bog'liqdir.

Normal yulduzlarning tublarida issiqlik o'tkazuvchanlik o'ta samarasiz, chunki energiyani ko'chishida ishtirok etuvchi elektronlar boshqa zarralar bilan to'qnashmasdan kichik masofalarda harakatlana oladilar. Issiqlik o'tkazuvchanlik faqat kompakt yulduzlarda – oq karlik va neytron yulduzlarda axamiyatli bo'lib qolishi mumkin, ularda fotonlarning erkin yugurish uzunligi juda kichik, ammo ayrim elektronlar uchun nisbatan katta bo'ladi. Demak, normal yulduzlarda energiya ko'chishining o'tkazuvchanligini inobatga olmasa ham bo'ladi.

Energiyaning radiatsion ko'chishida yulduzning qaynoqroq qismlaridan nurlangan fotonlar sovuqroq qismlari tomonidan yutiladi va qiziydi. Yulduz tubida ajralgan energiya butkul nurlanish orqali ko'chayotgan bo'lsa, yulduz nuriy muvozanatda bo'ladi.

Haroratning radiatsion gradienti L_r ga mos ravishda energiya oqimi bilan quyidagicha bog'liq:

ko'rinishga ega. Energiya ajralish tezligi markazgacha bo'lgan masofaga bog'liq bo'ladi. Umuman olganda, yulduz nurlantirayotgan barcha energiya qaynoq va zich yadroda ajraladi. Tashqi qatlamlarda energiya ajralishi kam va L_r deyarli o'zgarmasdir.

Harorat gradienti.

Muvozanatning to'rtinchi tenglamasi haroratning radiusga bog'lanishini, ya'ni, harorat gradienti dT/dr ni beradi. Tenglamaning shakli energiya ko'chishi ko'rinishiga: issiqlik o'tkazuvchanlik, konveksiya yoki

$$\frac{dT}{dr} = \left(-\frac{3}{4ac} \right) \left(\frac{k\rho}{T^3} \right) \left(\frac{L_r}{4\pi r^2} \right), \quad (6.20)$$

bu erda $a = 4\sigma/c = 7.564 \times 10^{-16} \text{ J m}^{-3} \text{ K}^{-4}$ – nurlanishning doimiysi, s – yorug'lik tezligi va ρ – zichlik. Massaning yutilish koeffitsienti k massa birligida yutilish kattaligini ifodalaydi. Uning qiymati haroratga, zichlikga va kimyoviy tarkibga bog'liq bo'ladi.

(6.20) ni olishda nurlanish ko'chishi tenglamasi (5.44) dan foydalanildi. Ushbu bobda qo'llanilayotgan o'zgaruvchilar nuqtai nazaridan quyidagicha yozish mumkin.

$$\cos\theta \frac{dl_v}{dr} = -k_v \rho l_v + j_v$$

Ushbu tenglamada k_v mos keluvchi o'rtacha qiymat x ga almashtiriladi. Shundan so'ng tenglama $\cos\theta$ ga ko'paytirilib, barcha yo'nalish va chastota bo'yicha integrallanadi. Chap tomondagi l_v Plank funksiyasi B_v yordamida approksimatsiyalanishi mumkin. Integral chastotasi (5.16) yordamida topilishi mumkin. O'ng tomondagi birinchi had (4.2) ga mos oqim zichliklarida ifodalanadi, ikkinchi hadning yo'nalishlar bo'yicha integrali nolga beradi, chunki $j_v\theta$ ga bog'liq emas. Shunday qilib,

$$\frac{4\pi}{3} \frac{d}{dr} \left(\frac{ac}{4\pi} T^4 \right) = -k\rho F_r$$

va nihoyat, oqim zichligi F_r va energiya oqimi L_r orasidagi bog'lanish

$$F_r = \frac{L_r}{4\pi r^2}$$

dan foydalanib, (6.20) ni oldik.

dT/dr ning hosilasi manfiydir, chunki harorat ichkariga ortib boradi. Ravshanki, agarda u erda energiya nurlanish orqali ko'chsa, harorat gradienti mavjud bo'lishi lozim, aks holda nurlanish maydoni barcha yo'nalishlarda bir xil bo'ladi va sof oqim F_r nolga teng bo'lib qoladi.

Agar nuriy ko'chish samarasiz bo'lib qolsa, haroratning nuriy gradientining absolyut qiymati juda katta bo'lib qoladi. U holda gazda nurlanishga nisbatan samaraliroq energiyani tashqariga eltuvchi harakatlar o'rnatiladi. Ushbu konvektiv harakatlarda qaynoq gaz yuqoriga, nisbatan sovuq qatlamlarga ko'tariladi, u erda o'zining energiyasini yo'qotadi va qayta cho'kadi. O'sib o'tuvchi gazning elementlari yulduzning materialini qorishtirib turadi va yulduzdagi konvektiv qismining tarkibi bir jinsli bo'lib qoladi. Ikkinchi tomondan, nurlanish va o'tkazuvchanlik materialni

qorishtira olmaydi, chunki ular gazni emas, balki faqat energiyani ko'chirishda ishtirok etadilar.

Konvektiv holdagi harorat gradientini tushunish uchun qo'tariluvchi pufakni olib ko'raylik. Faraz qilaylik, gaz pufak bilan harakatlanadi va adiabatik holatdagi tenglamaga bo'ysunadi:

$$T \propto P^{\frac{1-\gamma}{\gamma}}, \quad (6.21)$$

Bu erda P – gaz bosimi, γ – adiabatik eksponenta, ya'ni, o'zgarmas bosim va hajmdagi solishtirma issiqlik sig'irlarining nisbatlaridir:

$$\gamma = C_p/C_v. \quad (6.22)$$

Solishtirma issiqlik sig'irlarining ushbu nisbati gazning ionlashish darajasiga bog'liq bo'ladi va u harorat, zichlik hamda kimyoviy tarkibi ma'lum bo'lganda hisoblab topilishi mumkin.

(6.21) dan hosilani olib, konvektiv harorat gradienti uchun ifodani qo'lga kiritamiz:

$$\frac{dT}{dr} = \left(1 - \frac{1}{\gamma} \right) \frac{T}{P} \frac{dP}{dr}. \quad (6.23)$$

Amalda yulduz tuzilishini hisoblayotganda aloxida (6.20) yoki (6.23) dan foydalanganda nisbatan silliqroq harorat gradienti chiqadigan tenglama tanlanadi. Yulduzning tashqi qatlamlarida atrof muhit bilan issiqlik almashinuvi ham inobatga olinishi lozim, bunda (6.23) yaqinlashuvi unchalik yaxshi emas. Ko'pincha konvektiv harorat gradientini hisoblashda qorishtirish uzunligi nazariyasi qo'llaniladi. Konveksiya nazariyasi hanuzgacha murakkab, takomillashmagan muammo bo'lib kelmoqda uning echimi ushbu taqdimnomaning doirasidan chiqib ketadi.

Haroratning radiatsion gradienti absolyut qiymati bo'yicha adiabatik gradientidan katta bo'lib qolganda, ya'ni, radiatsion gradient keskinlashganda yoki konvektiv gradient kichrayganda konvektiv harakatlar yuzaga keladi. (6.20) formuladan ko'rinib turganidek, energiya oqimining zichligi yoki massadagi yutilish koeffitsienti kattalashganda radiatsion gradientining keskinlashuvini kutish mumkin. Adiabata ko'rsatkichi 1 ga yaqinlashganda konvektiv gradient kichrayadi.

Chegaraviy shartlar. Masala to'g'ri qo'yilishi uchun avvalgi differensial tenglamalarda chegaraviy shartlar yozilishi lozim:

– $r = 0$ radius ichidagi markaziy qismda energiya manbai yoki massa bo'lmasligi lozim; shunday qilib, $M_0 = 0$, $L_0 = 0$.

- Yulduz radiusi R chegarasida ichidagi umumiy massa qat'iy etib olinadi: $M_R = M$.

- Yulduz sirtidagi harorat va bosim qandaydir aniq T_R yoki P_R qiymatlarga ega. Ular, odatda, o'rtachalardan ancha kichik, shuning uchun $T_H = 0$ va $P_R = 0$ olish kifoyadir.

Ushbu chegaraviy shartlarga qo'shimcha sifatida holat tenglamasi bilan beriladigan bosim uchun ifoda, shuningdek, massalar yutilishi koeffitsienti hamda energiya ishlab chiqarish tezligi uchun ifodalari zarur bo'ladi. Asosiy differensial tenglamalarining echimi massani, haroratni, energiya oqimi va zichligini radius funksiyasi ko'rinishida beradi. Yulduzning radiusi va uning yorituvchanligini kuzatuvlardan taqqoslab ham topish mumkin.

Muvozanatli yulduzli modellarning xossalari, umuman olganda, berilgan massa va kimyoviy tarkibi orqali aniqlanadi. Bu natija Fogt – Ressel teoremasi sifatida tanishdir.

Gazning fizik holati. Yulduzlardagi mavjud yuqori harorat tufayli gaz deyarli butkul ionlashgan. Aloxida zarralar orasidagi o'zaro ta'sirlashuv kichik, shuning uchun gaz ideal gaz holati tenglamalariga bo'ysunadi:

$$P = \frac{k}{\mu m_H} \rho T, \quad (6.24)$$

bu erda k – Bolsman doimiysi, μ – m_H birliklarida ifodalangan o'rtacha molekulyar og'irlik, m_H – vodorod atomining massasi.

O'rtacha molekulyar massa gaz to'liq ionlashgan deb faraz qilgan holda taqribiy topilishi mumkin. Yadro zaryadi Z bo'lgan atom $Z+1$ erkin zarralarni (yadro va Z elektronlar) chiqaradi. Vodorod atom massasi birligida ikkita zarraga ega; geliy massasining to'rtta atom birligida uchta zarrani chiqaradi. Vodorod va geliydan og'irroq barcha elementlar uchun atom vazni yarimiga tenglashtirish uchun $Z+1$ deb olinishi kifoya. (Aniq qiymatlar osongina topilishi mumkin, ammo og'ir elementlarning miqdori shunchalik kichikki, odatda aniqroq qiymatlar talab etilmaydi.). Astrofizikada vodorodning nisbiy massa ulushi X bilan, geliyniki Y va undan og'irroq elementlar Z bilan belgilanadi, shuning uchun

$$X + Y + Z = 1. \quad (6.25)$$

(Bu tenglamadagi Z ni yadro zaryadi bilan adashtirmaslik lozim, u ham shu harf bilan belgilanadi). Shunday qilib, o'rtacha molekulyar massa

$$\mu = \frac{1}{2X + \frac{3}{4}Y + \frac{1}{2}Z} \quad (6.26)$$

ga teng bo'ladi.

Yuqori haroratlarda nurlanish bosimi ideal gaz tenglamasidan kelib chiqadigan gaz bosimiga qo'shilishi lozim. Nurlanish tufayli hosil bo'ladigan bosim (shuningdek, 239 betga qaralsin)

$$P_{rad} = \frac{3}{4} a T^4 \quad (6.27)$$

ga teng, bu erda a – nurlanish doimiysi. Shunday qilib, umumiy bosim

$$P = \frac{k}{\mu m_H} \rho T + \frac{1}{3} a T^4 \quad (6.28)$$

ga teng. O'ta yuqori zichliklardagi gazga buni qo'llab bo'lmaydi.

Pauli taqiqi tamoyiliga ko'ra, bir necha elektronli atom bir vaqtning o'zida teng bo'lgan to'rtta kvant soniga ega bittadan ortiq elektronga ega bo'la olmaydi. Buni tarkibida elektron yoki boshqa fermion mavjud gazga ham tadbiiq etish mumkin. Elektronlarni bayon etishda olti o'lchamli fazodan foydalanish mumkin, ulardan uchta koordinatasi zarraning vaziyatini, qolgan uchasi x, y, z yo'nalishlardagi impuls koordinatalarini beradi. Fazaviy fazo elementining hajmi

$$\Delta V = \Delta x \Delta y \Delta z \Delta p_x \Delta p_y \Delta p_z, \quad (6.29)$$

Noaniqlik tamoyilidan, eng kichik sezilarli hajm elementi h^3 tartibida bo'ladi. Istisno tamoyiliga ko'ra, bunday element hajmida qarama-qarshi spinlarga ega faqat ikkita elektron mavjud bo'lishi mumkin. Zichlik etarlicha katta bo'lganda fazaviy fazo hajmining barcha elementlari qandaydir chegaraviy impulsqa qadar to'lgan bo'ladi. Bunday modda aynigan modda deb nomlanadi.

Elektron gazning zichligi taxminan 10^7 kg/m^3 tartibiga etganda u aynay boshlaydi. Oddiy yulduzlarda gaz odatda aynimagan bo'ladi, ammo oq karlik va neytron yulduzlarda degeneratsiya muhim axtamiatga ega bo'lib qoladi. Aynigan elektron gazning bosimi (239 betga qaralsin):

$$P \approx \left(\frac{h^2}{m_e} \right) \left(\frac{N}{V} \right)^{5/3}, \quad (6.30)$$

bu erda m_e – elektronning massasi, N/V – hajm birligida elektronlarning soni. Ushbu tenglamani zichliklar birliklarida yozish mumkin:

$$\rho = N \mu_e m_H / V,$$

bu erda μ_e – erkin elektronning m_H birliklarida ifodalangan o'rtacha molekulyar massasi. μ_e uchun ifoda (6.26) ga o'xshash holda olinishi mumkin:

$$\mu_e = \frac{1}{X + \frac{2}{4}Y + \frac{1}{2}Z} = \frac{2}{X+1} \quad (6.31)$$

Quyoshdagi vodorod miqdori uchun uning qiymati

$$\mu_e = 2/(0,71 + 1) = 1,17$$

ga teng. Bosim uchun natijaviy ifoda quyidagichadir:

$$P \approx \left(\frac{h^2}{m_e} \right) \left(\frac{\rho}{\mu_e m_H} \right)^{2/3} \quad (6.32)$$

Bu – aynigan elektron gazning holat tenglamasi, ammo bunda ideal gaz uchun qonunidan farqli ravishda bosim haroratga bog'liq emas, u faqat zarralarning massasi va zichligiga bog'liqdir.

Normal yulduzlarda aynigan gazning bosimi juda kichik, ammo gigant yulduzlarning markazlarida va zichligi $10^9 \text{ kg} / \text{m}^3$ tartibiga etadigan oq karliklarda harorattan qat'iy nazar aynigan gazning bosimi ustun keladi.

Elektronlarning yanada kattaroq zichliklarida impulsar shunchalik kattalashib ketadiki, ularning tezliklari yorug'lik tezligiga yaqinlashadi. U holda maxsus nisbiylik nazariyasidagi formulalardan foydalangani ma'qul. Aynigan relyativistik gazning bosimi quyidagichadir:

$$P \approx hc \left(\frac{N}{V} \right)^{2/3} = hc \left(\frac{\rho}{\mu_e m_H} \right)^{2/3} \quad (6.33)$$

Relyativistik holda bosim zichlikning $5/3$ darajasiga emas, balki norelyativistik holdagidek, $4/3$ darajasiga proporsionaldir. Relyativistik holga o'tish zichlikning taxminan $10^9 \text{ kg} / \text{m}^3$ qiymatlaridan boshlanadi.

Umumiy holda yulduz tubidagi bosim haroratga (butkul aynigan gaz bundan mustasno), zichlik va kimyoviy tarkibiga bog'liq bo'ladi. Real yulduzlarda gaz hech qachon butunlay ionlashgan yoki butunlay aynigan bo'lmaydi. Bunda bosim nisbatan murakkabroq ifodalarga bo'ysunadi. Shunday bo'lsada, u har bir qiziqtirgan hol uchun hisoblab topilishi mumkin. Unda, bosimni harorat, zichlik va kimyoviy tarkib funksiyasi sifatida yozish mumkin bo'ladi:

$$P = P(T, \rho, X, Y, Z). \quad (6.34)$$

Gazning shaffofsizligi nurlanish uchun ko'rsatgan qarshiligini ifodalaydi. Masofa dr da intensivlik dl o'zgarishi quyidagicha ifodalanishi mumkin: $dl = -I\alpha dr$, bu erda α shaffofsizlik koeffitsienti. Shaffofsizlik gazning kimyoviy tarkibiga, harorat va zichligiga bog'liq bo'ladi. Odatda u $\alpha = \kappa\rho$ ko'rinishda yoziladi, bu erda ρ – gazning zichligi, κ – yutilishning massaga bog'liq koeffitsienti ($[\kappa] = \text{m}^2 / \text{kg}$).

Shaffofsizlikga teskari qiymati nurlanishning muhitda erkin yugurish o'rtacha uzunligini, ya'ni, sochilishsiz yoki yutilishsiz tarqalishi mumkin bo'lgan masofani beradi. Yutilishning turli xil jarayonlari (bog'langan-bog'langan, chekli-erkin, erkin-erkin) haqida 6.1 bo'limida bayon etilgandi. Yulduzli moddaning har bir jarayon uchun shaffofsizligi mos keluvchi harorat va zichlik berilgan qiymatlari orqali hisoblab olinishi mumkin.

Yulduzlar energiyasining manbalari. Yulduz tuzilishining tenglamalari olingan paytda yulduziy energiya manbalarining tasniflari noma'lumligicha qolib ketayotgan edi. Yulduzning odatiy yorituvchanligini bilgan holda energiya manbalari davomiyligini va turlarini bilish mumkin. Masalan, normal kimyoviy yonish energiyani atigi bir necha ming yil davomida etkazib berishi mumkin. Yulduz siqilishida ajraladigan energiya biroz ko'proq muddatga cho'zilishi mumkin, ammo u ham bir necha million yildan so'ng tugashi lozim.

Erdagi biologik va geologik ma'lumotlardan Quyoshning yorituvchanligi bir necha milliard yil davomida deyarli o'zgarishsiz kelayotganligidan dalolat beradi. Erning yoshi taxminan 5 milliard yil tashkil etadi, bundan Quyosh ana shu davr ichida mavjud bo'lishi lozim. Quyoshning yorituvchanligi $4 \times 10^{26} \text{ W}$, u 5×10^9 yil davomida $6 \times 10^{43} \text{ J}$ energiyani nurlantirgan. Quyoshning massasi $2 \times 10^{30} \text{ kg}$ ekanligini inobatga olsak, u kamida $3 \times 10^{13} \text{ J} / \text{kg}$ ni ishlab chiqarishga qodir.

Energiya manbaidan qat'iy nazar Quyosh tubidagi sharoitlar ma'lum. Shunday qilib, 10.5 misolda Quyosh ichida radiusi yarmisiga teng masofada harorat taxminan 5 million gradus tashkil etishi hisoblangan. Markazdagi harorat taxminan o'n million Kelvinga yaqin, bu esa, termoyadroviy sintez reaksiyalari kechishi uchun etarlicha kattadir.

Sintez reaksiyalarida engil elementlar nisbatan og'ir elementlarga aylanadi. Reaksiyadan chiqqan mahsuli dastlabki yadrolarga nisbatan kamroq summar massaga ega. Ana shu massalar farqi Eynshteynning formulasiga binoan $E = mc^2$ miqdorida energiya ko'rinishida ajraladi. Termoyadroviy reaksiyalarni yonish reaksiyalari deb ataladi, vaholanki, ular yoqilg'ining oddiy kimyoviy yonishiga hech qanday aloqasi yo'q.

Atom yadrosi proton va neytronlardan iborat, ular birgalikda nuqulonlar deb nomlanadi. Aniqlik kiritaylik:

m_p = proton massasi,

m_n = neytron massasi,

Z = yadro zaryadi = atom nomeri,

N = neytronlar soni,

$A = Z + N$ = atom og'irligi,

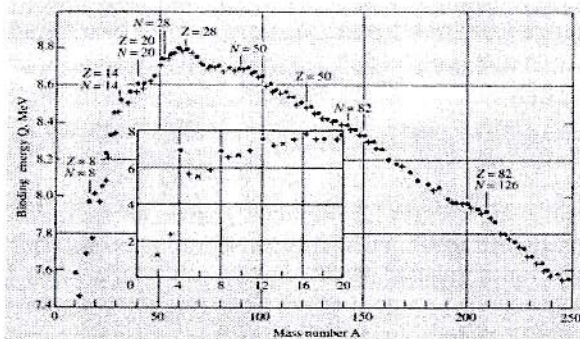
$m(Z, N)$ = yadro massasi.

Yadro massasi uning barcha nuklonlar massalar yig'indisidan kichik. Bu farq bog'lanish energiyasi deb nomlanadi. Bir nuqlonga mos keluvchi bog'lanish energiyasi

$$Q = \frac{1}{A} (Zm_p + Nm_n - m(Z, N))c^2 \quad (6.35)$$

ga teng. Q temirga ($Z = 26$) qadar og'ir elementlar tomon kattalashib boradi, undan so'ng u yana kichraya boshlaydi.

Ma'lumki, yulduzlar asosan vodoroddan iborat. To'rtta vodorod atomi geliy atomiga birlashishi natijasida qancha energiya ajralib chiqishini ko'raylik. Protonning massasi $1,672 \times 10^{-27} \text{ kg}$, geliy yadrosining massasi $6,644 \times 10^{-27} \text{ kg}$. Massalarning farqi $4,6 \times 10^{-29} \text{ kg}$, undan ajraladigan energiya $E = 4,1 \times 10^{-12} \text{ J}$ ga teng. Shunday qilib, massaning 0,7 % i energiyaga aylanar ekan, bu esa vodorodning bir kilogrammidan $6,4 \times 10^{14} \text{ J}$ energiya ajralib chiqishini beradi. Avvalgi chamalashlarimizga qaraganda bu ancha katta, chunki atigi $3 \times 10^{13} \text{ J/kg}$ talab etilgandi.

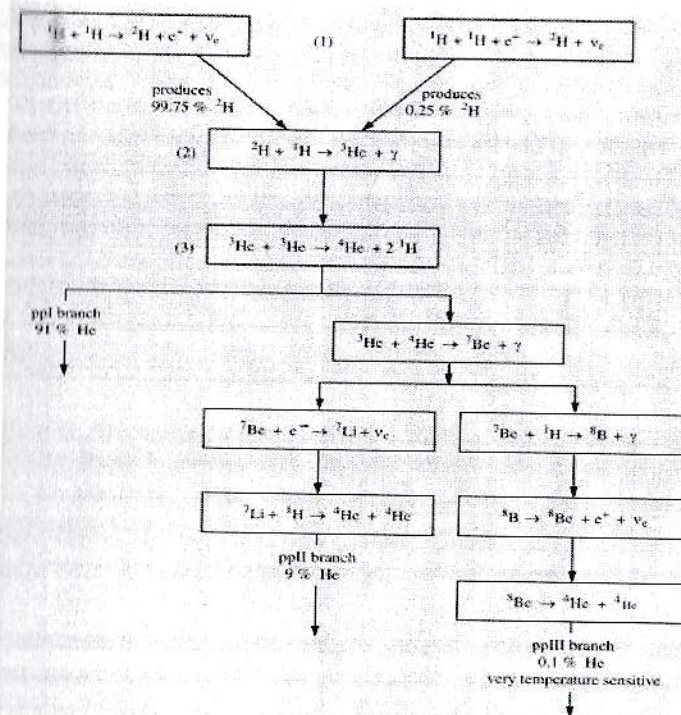


6.7- rasm. Bitta nuqlonga mos keluvchi bog'lanish energiyasi yadroning atom og'irligiga bog'liq. Bir xil atom og'irligiga ega izotoplar ichida eng katta bog'lanish energiyalilari ko'rsatilgan. Nuqtalar juft sonli proton va neytronlarga, krestchalar toq massali sonlarga mos keladi.

sikli edi. Energiya ishlab chiqarishning proton-protonli zanjir, 3 α -reaksiyalari kabi boshqa muhim jarayonlari 1950 yilga qadar topilmagandi.

Proton-protonli zanjir. Massasi Quyoshnikiga teng yoki undan kichikroq yulduzlarda energiya proton-protonli (pp) zanjirli reaksiya orqali ajraladi.

1930 yillarga kelib, yulduzlar energiyasi yadroviy sintez yo'li bilan paydo bo'lishiga shubha qolmagandi. 1938 yilda Bete va undan mustaqil ravishda Karl Fridrix fon Veyszekker yulduzlarda energiya chiqishining batafsil mexanizmini taklif qildilar, u uglerod - azot - kislorod (carbon-nitrogen-oxygen), ya'ni CNO-

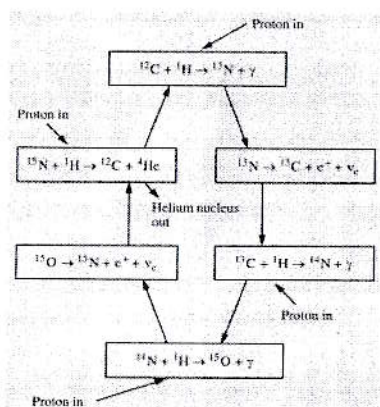
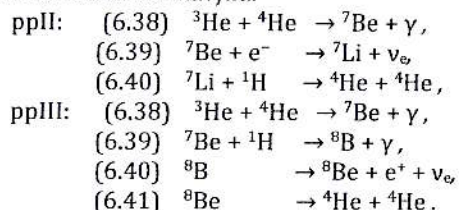


6.8- rasm. Proton-protonli zanjir. ppI reaksiyada to'rtta proton bitta geliy yadrosiga, ikkita pozitron, ikkita neytron va nurlanishga aylanadilar. Ushbu reaksiyalarning nisbiy salmog'i Quyosh sharoiti uchun keltirilgan. Bu turdagi reaksiyalar massasi $1,5 M_{\odot}$ dan kichik bo'lgan yulduzlarda muhim ahamiyatga ega.

Har bir (6.38) reaksiya uchun (6.36) va (6.37) reaksiyalar ikki marta takrorlanadi. Reaksiyaning birinchi bosqichini laboratoriyalarda o'lchash extimoli juda kichik. Quyoshning markazidagi mavjud bo'lgan zichlik va haroratda ikkita proton to'qnashib deytron hosil qilish vaqti o'rtacha 10^{10} yilni tashkil etadi. Ushbu reaksiya sekin-astalik bilan o'tishi tufayligina Quyosh shu paytgacha porlab turibdi. Agar bu reaksiya biroz jadalroq o'tganda, Quyosh allaqachon yonib tugagan bo'lardi. (6.36) reaksiyada hosil bo'ladigan neytrino yulduzni bimalol tark etib, uzi bilan birga ajralayotgan energiyaning ma'lum ulushini olib ketishi mumkin. Pozitron e^+ elektron bilan jadal kirishib ikkita gamma-kvantni hosil qilib yo'qoladi.

Ikkinchi reaksiyada deytron va proton birlashib geliy izotopi ^3He ni hosil qiladi, bu reaksiya avvalgiga qaraganda juda jadal kechadi. Shuning uchun yulduzlarda deytronlarning miqdori juda kichik.

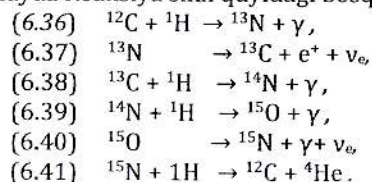
pp zanjiridagi so'nggi qadami uch xil ko'rinishga kirishi mumkin. Yuqorida ko'rsatib o'tilgandek, ppl eng extimolli bo'lishi mumkin. Quyoshda energiyaning 91% ni ppl zanjirida ishlab chiqariladi. Shuningdek, pp zanjirining ikkita qo'shimcha tarmoqlarida ikkita ^3He yadro ^4He yadrolariga birlashish extimoli mavjud.



6.9- rasm. CNO siklda ^{12}C katalizatsiya qilinadi. Unda to'rtta proton ishtirok etib, geliy yadrosiga, ikkita pozitron, ikkita neytrino va nurlanishga aylanadi. U massasi $1,5 M_\odot$ dan kattaroq yulduzlarda asosiy energiya manbai deb hisoblanadi.

Uglerodli sikl (6.9- rasm).

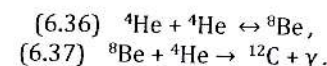
20 million gradusdan pastroq haroratlarda energiya chiqarishning pp- zanjiri asosiy mexanizm bo'lib qoladi. Massasi $1,5 M_\odot$ dan kattaroq yulduzlarga mos keluvchi yanada yuqoriroq haroratlarda uglerodli (CNO) sikl ustun kela boshlaydi, chunki uning sur'ati harorat oshishi bilan tezlashib boradi. Uglerodli (CNO) siklda kislorod va azot katalizator (tezlatkich) rolini o'ynaydi. Reaksiya sikli quyidagi bosqichlaridan iborat:



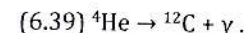
(6.39) reaksiya eng sekin kechuvchidir, shuning uchun u (CNO) siklning tezligini aniqlab beradi. 20 million gradusda (6.39) reaksiya uchun talab etiladigan vaqt million yilni tashkil etadi.

(CNO) siklda nurlanish ko'rinishida ajraladigan energiya ulushi pp- zanjiridagiga nisbatan biroz kamroq, chunki energiyaning katta qismini neytrino olib ketadi.

Uch karra α -reaksiya. Avvalgi ko'rib chiqilgan reaksiyalarda yulduz tublarida geliy miqdori ortib boradi. Harorat 10^8 gradusdan oshganda geliy uglerodga uch karra α -reaksiya orqali aylanishi mumkin:

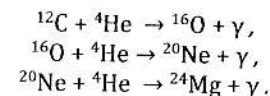


Bu erda ^8Be noturg'un va $2,6 \times 10^{-16}$ sekund ichida ikkita geliy yadrosiga yoki α -zarralarga parchalanadi. Shunday qilib, uglerod hosil bo'lishi uchun deyarli bir vaqtning o'zida uchta zarra to'qnashishi talab etiladi. Reaksiya ko'pincha quyidagicha yoziladi:

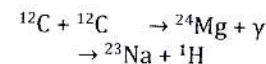


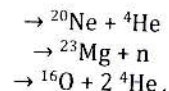
Geliy yonishi tugagandan so'ng yanada yuqoriroq haroratlarda temir va nikelga qadar og'ir elementlar ishtirok etishi mumkin bo'lgan boshqa reaksiyalar boshlanishi extimoli bor. Ana shunday reaksiyalarga misol kilib, kislorod, uglerod va kremniy yonishidek turli α -reaksiyalarni ko'rsatish mumkin.

α -reaksiyalar. Geliy yonayotgan paytda hosil bo'lgan uglerodning ayrim yadrolari geliy yadrolari bilan qayta reaksiyaga kirishib, kislorodni hosil qiladi, u esa, o'z navbatida qayta reaksiyada neonni hosil qiladi, v.x.k. Bu reaksiyalar etarlicha kam amalga oshadi, shuning uchun yulduzli energiya manbalari sifatida unchalik ahamiyatli emas. Bunday reaksiyalarga misol qilib quyidagilarni ko'rsatish mumkin:

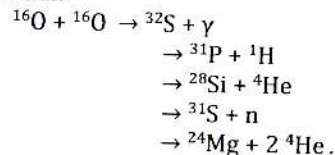


Uglerod yonishi. Geliy tugagandan so'ng, $(5-8) \times 10^{10}$ K haroratlarda uglerodning yonishi boshlanadi:

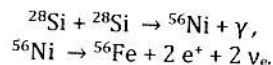




Kislород yonishi. Yanada yuqoriroq haroratlarda reaksiyaga kislorod kirishadi:



Kremniy yonishi. Kremniy yonishidagi bir necha qadamdan so'ng nikel va temir hosil bo'ladi. Butun jarayon quyidagicha ifodalanishi mumkin:



Harorat 10^9 K dan yuqori bo'lganda, fotonlarning energiyasi ayrim yadrolarni yo'q qilishga etarli katta bo'ladi. Bunday reaksiyalar fotoyadroviy reaksiyalar yoki fotodissotsiatsiyalar deb nomlanadi.

Temirdan og'irroq elementlarni hosil qilish uchun energiya etkazib berilishini talab etadi, shuning uchun bunday elementlar termoyadroviy reaksiyalarda hosil bo'lmaydi. Temirdan og'irroq elementlar yulduzli evolyusiyaning keskin va shiddatli bosqichlari davomida neytronlarni qamrab olishlaridagina paydo bo'lishi mumkin.

Yuqorida berilgan reaksiyalarning tezliklarini laboratoriya tajribalari yordamida yoki nazariy hisob-kitoblardan aniqlash mumkin. Buni bilgan holda zichlik, harorat va kimyoviy tarkibiga bog'langan hamda massa va vaqt birligida qancha energiya ajralib chiqishini topish imkoni topiladi:

$$\varepsilon = \varepsilon(T, \rho, X, Y, Z). \quad (6.42)$$

Amalda og'ir yadrolarining nafaqat umumiy soni Z , balki nisbiy miqdori ham ma'lum bo'lishi lozim.

6.7-§. Qo'shaloq yulduzlar

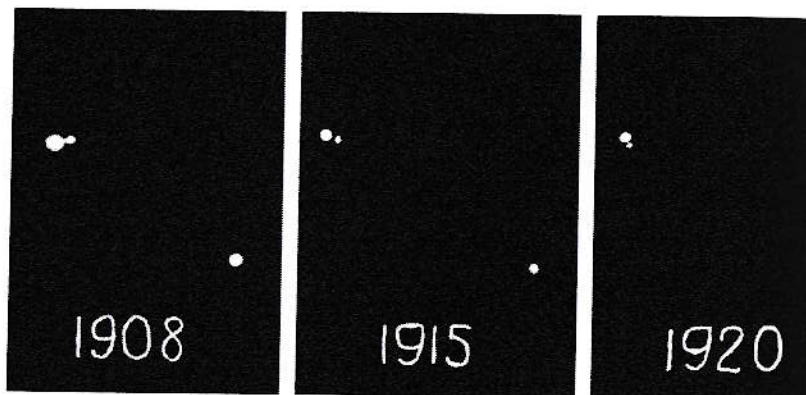
Ko'p holda osmondagi ikkita yulduz biri biriga yaqin joylashgan bo'lib ko'rinadi, aslida ularni juda katta masofalar ajratib turadi. Bunday tasodifiy juftliklar optik qo'shaloq yulduzlar deb nomlanadi. Shunday bo'lsada, ko'pgina yaqin joylashgan yulduziy juftliklar bir xil masofada joylashgan

bo'lib, fizik juftlikni tashkil etadilar, bunda ikkala yulduz bir-birining atrofida aylanadilar. Barcha yulduzlarning deyarli yarimi Quyosh kabi yakka yulduzlardir, 50% dan ziyod yulduzlar ikkita va undan ko'proq a'zolarga ega yulduzli sistemalarga taalluqlidir. Umumiy holda ko'pchilik sistemalar ierarxik tuzilishga ega: uch karrali sistemalarda bitta yulduz qo'shaloq yulduz atrofida, to'rt karrali sistemalarda ikkita qo'shaloq juftlik biri birining atrofida aylanadilar. Shunday qilib, ko'p hollarda murakkab sistemalarni bir nechta pog'onalarga ega juftliklar deb ko'rsatish mumkin.

Qo'shaloq yulduzlar ularni kuzatish usuli asosida sinflashtiriladi. Vizual juftliklarni ikkita yakka komponenta deb qabul qilish mumkin, bunda yulduzlar orasidagi masofa 0,1 burchak sekunddan kichik bo'lmog'i lozim. Komponentalarning o'zaro joylashuvi ko'p yillar davomida o'zgarib boradi, chunki ular o'zlarining orbitalari bo'ylab harakatlanadilar (63 rasm). Astrometrik qo'shaloqlarda faqat bitta yulduz ko'rinadi, ammo undagi xususiy harakatining o'zgaruvchanligi ko'zga ko'rinmas ikkinchi komponenta mavjudligidan dalolat beradi. Spektroskopik qo'shaloq yulduzlar ularning spektrlari asosida topiladi. Bunda spektral chiziqlarning ikkita to'plami yoki ana shu chiziqlar orasida davriy ravishda dopplercha siljish kuzatiladi, bu ham ko'rinmas yo'ldoshga ishora qiladi. Qo'shaloqlarning to'rtinchi sinfi fotometrik qo'shaloq yoki tutuluvchan o'zgaruvchan yulduzlardir. Bu sistemalarda juftlikning komponentalari muntazam biri-birini to'sib o'tadilar, oqibatda ularning umumiy yulduziy kattaliklari o'zgarib turadi.

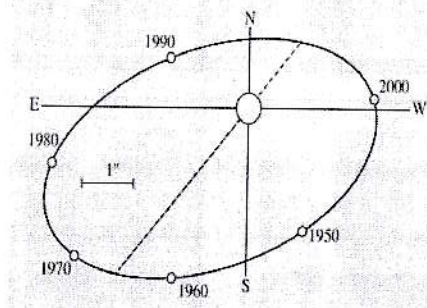
Qo'shaloq yulduzlar, shuningdek, o'zaro ta'sirlashuvlariga binoan ham sinflashtirilishlari mumkin. Keng juftliklarning komponentalari orasidagi masofa bir necha o'n va bir necha yuz astronomik birliklar bo'lib, ularning orbital davrlari bir necha o'n yildan bir necha ming yilgacha tashkil etishi mumkin. Tig'iz qo'shaloq sistemalarda yulduzlar orasidagi masofa bir astronomik birlikdan yulduz radiusigacha teng bo'lishi mumkin. Ularda orbital davr bir necha soatdan bir necha yilgacha bo'ladi. Kontaktli qo'shaloqlarda komponentalari shunchalik yaqinki, ular biri-biriga tegib turadi.

Qo'shaloq sistemalardagi yulduzlar sistemaning massalar markazi atrofida harakatlanish orbitasi ham ellips ekanligi isbotlangan, va kuzatuvlarni sharhlaganda ko'pincha komponentalarning biri qo'zg'almas, ikkinchisi esa, uning atrofida aylanadi deb olinadi.



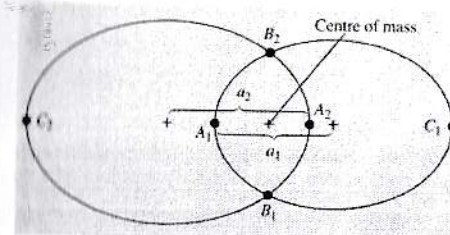
6.10- rasm. Uzoq kuzatuvlar mobaynida vizual qo'shaloqlarni kuzatib, komponentalari biri biriga nisbatan vaziyatlarini o'zgartirishlarini payqash mumkin. Kryuger 60 yulduzining tasviri. (Yerks observatoriyasi)

Vizual qo'shaloqlar. Vizual qo'shaloqni olib ko'raylik, bunda bosh komponenta qo'zg'almas, yo'ldoshi esa, orbita bo'ylab uning atrofida



6.11- rasm. 1830 yilda ilk bor ξ Katta Ayiq qo'shaloq yulduzining orbitasi kuzatuvlardan aniqlangan.

Vizual qo'shaloq yulduzlarning kuzatuvlari fazo tekisligidagi nisbiy orbital ellipsning proeksiyasini beradi, bunda haqiqiy orbitaning vaziyati va shakli aniqlanmaydi. Shunday bo'lsada, bosh yulduz nisbiy orbitaning fokal nuqtasida joylashishi lozim degan taxmindan ularni hisoblab topish mumkin. Bosh yulduzning proeksiyalangan nisbiy orbitadagi hisoblangan vaziyatidan chetlashishlari haqiqiy orbitaning batafsil orientatsiyasini topishga imkon beradi.



6.12- rasm. Qo'shaloq sistemaning komponentalari umumiy massalar markazi atrofida harakatlanadilar. A1 va A2 berilgan vaqt momenti A da, mos ravishda, B va C uchun yulduzlarning vaziyatlarini belgilaydi

yulduzlar orbita ellipsdagi katta yarimo'qlari a_1 va a_2 bo'lsin. Bundan, massalar markazigacha masofalariga muvofiq:

$$\frac{a_1}{a_2} = \frac{m_2}{m_1} \quad (6.43)$$

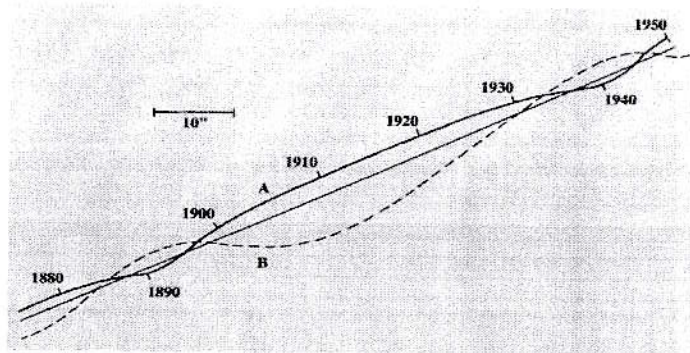
bo'ladi, bunda m_1 va m_2 – massalarning tashkil etuvchilaridir. Nisbiy orbitaning katta yarimo'qi

$$a = a_1 + a_2 \quad (6.44)$$

Masalan, ξ Katta Ayiq yulduzi komponentalarining massalari 1,3 va 1,0 Quyosh massalariga tengligi aniqlangan.

Astrometrik qo'shaloq yulduzlar. Astrometrik qo'shaloqlarda massalar markazi atrofida faqat yorqin tashkil etuvchisining orbitasini kuzatish mumkin. Agar ko'rinayotgan komponentaning massasi biror yo'sinda, masalan, uning yorituvchanligidan aniqlansa, ko'rinmas yo'ldoshning ham massasini aniqlasa bo'ladi.

1830 yilda ilk bor topilgan astrometrik qo'shaloq yulduz Sirius edi, uning xususiy harakati o'ziga xos to'liqsimon ko'rinishga ega. Uning atrofida kichik yo'ldosh mavjud deb taxmin qilindi, u bir necha o'n yildan so'ng topildi (63 va 64 rasmlar). Ushbu qo'shaloqning yo'ldoshi Sirius B umuman yangi turdagi obyekt, ya'ni, oq karlik bo'lib chiqdi.



6.13- rasm. Sirius va uning yo'ldoshining fazodagi harakat yo'llari

Sayyoraviy sistemalarni axtarish maqsadida Quyoshga yaqin tevaragida joylashgan yulduzlarning xususiy harakatlari batafsil o'rganib chiqildi.

Masalan, harakatlarini o'rganish orqali Barnard yulduzi ko'rinmas yo'ldoshlarga ega deb gumon qilinsada, boshqa yulduzlar atrofida sayyoraviy sistemalar topilganicha yo'q, ular spektroskopik kuzatuvlar orqali ham tadqiq qilindi.

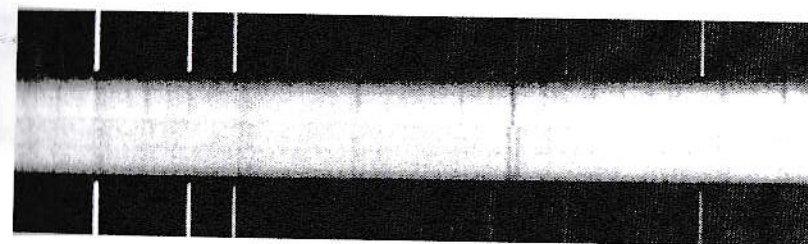
Spektroskopik qo'shloqlaryu Spektroskopik qo'shloq yulduzlar (66-rasm) xatto eng kuchli teleskoplarda ham kuzatilganda yakka yulduzlardek ko'rinadilar, ammo ularning spektrlari muntazam davriy o'zgarishlarga egadir. Dastlabki spektral qo'shloq 1880 yilda topilgandi, unda ζ UMa yoki Mitsar yulduzining spektral chiziqlari teng vaqtlar oralig'ida ikkitaga parchalanib turishi aniqlandi.

Spektral chiziqdagi Doplercha siljish radial tezligiga to'g'ri proporsional. Shunday qilib, spektral chiziqlarning eng kuchli ajralishi komponentalardan biri kuzatuvchiga yaqinlashayotganga, ikkinchisi esa, uzoqlashayotganga mos keladi.

Spektral chiziqlardagi o'zgarish davri yulduzlarning orbital davrining o'zginasidir. Afsuski, orbitaning fazodagi vaziyatini aniqlaydigan umumiy usuli yo'q. Kuzatilayotgan tezlik v haqiqiy tezlik v_0 bilan

$$v = v_0 \sin i \quad (6.45)$$

munosabatda bog'langan, bu erda i - ko'rish nuri bilan orbita tekisligi orasidagi burchak.



6.14- rasm. Spektral qo'shloq k Ari yulduzining spektri. Yuqoridagi spektrda spektral chiziqlar yakka-yakka, quyidagisida ikkilangan. (Lik observatoriyasi).

Komponentalari massalar markazi atrofida doiraviy orbita bo'ylab harakatlanayotgan qo'shloqni olib ko'raylik. Orbita radiuslari a_1 va a_2 bo'lsin. Massalar markazi ta'rifidan $m_1 a_1 = m_2 a_2$, bunda $a = a_1 + a_2$ deb yozamiz va undan

$$a_1 = \frac{a m_2}{m_1 + m_2} \quad (6.46)$$

kelib chiqadi. Haqiqiy orbital tezligi

$$v_{0,1} = \frac{2\pi a_1}{P}$$

bu erda P - orbital davrdir. (9.3) ga binoan kuzatilayotgan orbital tezlik

$$v_1 = \frac{2\pi a_1 \sin i}{P} \text{ bo'ladi.} \quad (6.47)$$

Bunga (9.4) ni olib qo'yamiz va

$$v_1 = \frac{2\pi a}{P} \frac{m_2 \sin i}{m_1 + m_2}$$

ni qo'lga kiritamiz. Keplerning uchinchi qonunidan foydalanib, massalar funksiyasi tenglamasini olamiz:

$$\frac{m_2^3 \sin^3 i}{(m_1 + m_2)^2} = \frac{v_1^3 P}{2\pi G} \quad (6.48)$$

Agar spektroskopik qo'shloqda komponentalaridan biri spektral chiziqlari kuzatilmaydigan darajada zaif bo'lsa, faqat P va v_1 topiladi. Unda (6.48) tenglamada massalar funksiyasi sifatida faqat chap tomondagi xad

qoladi. U holda komponentalarining massalari hamda umumiy massa aniqlanmaydi. Agar ikkala komponentalarning spektral chiziqlari kuzatilsa, v_2

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{a_1}{a_2}$$

ham aniq bo'ladi. Unda (6.47) dan quyidagi topiladi: $\frac{v_1}{v_2} = \frac{a_1}{a_2}$, undan tashqari,

$$m_1 = \frac{m_2 v_2}{v_1}$$

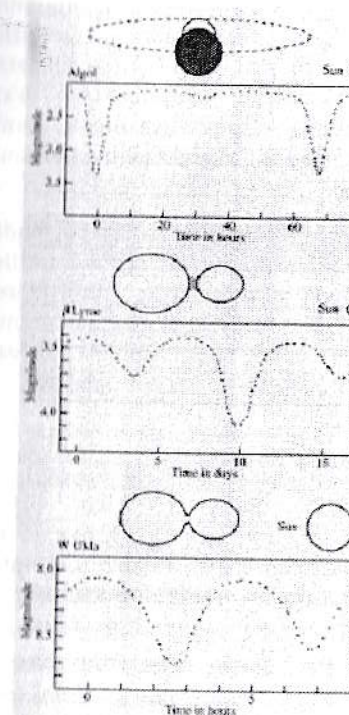
massalar markazi aniqlanishi ni beradi.

Uni (6.48) ga olib qo'yib, mos ravishda $m_2 \sin^3 i$ hamda $m_1 \sin^3 i$ lari aniqlanishi mumkin. Bunda orbitaning qiyaligi ma'lum bo'lsa ham, haqiqiy massalarini aniqlab bo'lmaydi.

(6.47) dan qo'shaloqning orbita o'lchami yoki katta yarimo'qi a topilishi mumkin, aniqligi esa, sini ning ko'paytiruvchisiga bog'liq bo'ladi. Umumiy holda qo'shaloq yulduzlarning orbitalari doiraviy emas, oqibatda yuqoridagi ifodalarini shu ko'rinishlari bo'yicha qo'llab bo'lmaydi. Ekssentrik orbitada ekscentrisiteti ortgan sari tezlikning shakli oddiy sinusoidadan shunchalik farqlanib boradi. Tezlikning o'zgarish shaklidan ekscentrisitet hamda periastr uzunlamasi aniqlanishi mumkin. Ularni bilgan holda massalar funksiyasi yoki aloxida komponentalarning massalari $\sin^3 i$ ning ko'paytiruvchisi aniqligi darajasida qayta topilishi mumkin.

Yaqin tevarakdagi yulduzlarning spektrlarini aniq tadqiqotlaridan o'lchami sayyoralardek bo'lgan bir nechta yo'ldosh topildi. 1995 - 2002 yillarda massalari 0,1 dan 13 gacha Yupiter massalari oralig'ida bo'lgan yuztaga yaqin ekzosayyoralar kuzatildi.

Fotometrik qo'shaloq yulduzlar. Fotometrik qo'shaloqlarda umumiy yorqinlikning davriy o'zgarishlari sistemadagi komponentalarining harakatlari tufayli kelib chiqadi. Odatda fotometrik juftliklar biri birini to'sib o'tadilar, bunda yorqinlikning o'zgarishlari nafaqat tutilishlari tufayli, balki yaqin joylashgan komponentalari sirtlari ko'tarilish-pasayish effektlari sababli shakllarining ellipsoidal ko'rinishga egaligidan ham sodir etiladi. Bunday sistemalarda komponentalarning biri yoki ikkalasi ham ko'tarilish-pasayish tufayli ellipsoidal shaklga kirgan bo'ladi.



6.15- rasm. Algol, Liraning β va Katta Aiyiqning W turidagi qo'shaloq sistemalarning ravshanlik egri chiziqlari ko'rinishlari. Taqqoslash uchun Quyoshning o'lchami berilgan.

Orbitaning turli joylarida shakli buzilgan komponenta sirtining proeksiyalanadigan yuzasi o'zgarib turadi. Sirtidagi harorati ham ko'tarilgan do'ngliklar qismida pastroq bo'ladi. Ushbu faktorlar birgalikda yorqinliklarining kichik o'zgarishlarini keltirib chiqaradi.

To'siluvchan qo'shaloqlarda orbita qiyaligi 90° ga yaqin bo'lishi lozim. Faqat bunday spektroskopik juftliklarda qiyalik ma'lum bo'lishi tufayli massalari aniqlanishi mumkin.

Tutuluvchan o'zgaruvchan yulduzlarda yulduziy kattaliklari o'zgarishi vaqt funksiyasi sifatida taqdim etilishi yorqinlik egri chizig'i deb nomlanadi. Yorqinlikning egri chizig'ining shakliga ko'ra bunday yulduzlar uchta asosiy turga bo'linadi, bular: Algol, Liraning β yulduzi va Katta Aiyiqning W yulduzidir (6.15 rasm).

Algol yulduzlari. Algol turidagi tutuluvchan o'zgaruvchan yulduzlar Perseyning β yoki Algol yulduzi kashf qilingandan so'ng shunday deb nomlandilar. Davrning kattagina qismida ravshanlik egri chizig'i deyarli o'zgarmasdir. Bu esa, yulduzlar aloxida-alohida ko'ringan fazalariga mos keladi, o'sha momentlarda umumiy yulduziy kattalik o'zgarmaydi. Ravshanlik

egri chizig'ida ikki xil minimum kuzatiladi, ulardan biri – bosh minimum ikkinchisiga nisbatan ancha chuqurroq. Ushbu effekt yulduzlar ravshanligidagi farqlaridan kelib chiqadi. Bosh yulduz, u odatda nisbatan sovuqroq gigantdir, kichikroq, ammo qaynoqroq komponentani to'sib o'tganda ravshanlik egri chizig'ida chuqur minimum kuzatiladi. Kichik, ammo yorqinroq yulduz gigantning diskidan o'tayotganda sistemaning umumiy yulduziy kattaligi unchalik kuchli o'zgarmaydi.

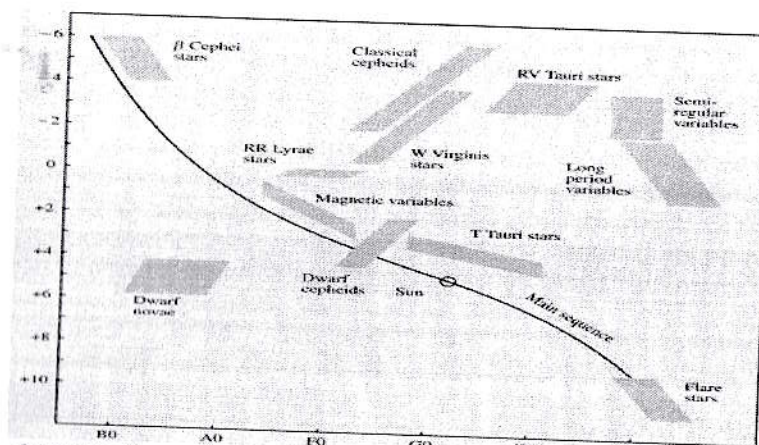
Minimumlarning shakli tutilishlar to'liq yoki qisman bo'lishiga bog'liqdir. Qisman tutilishlarda ravshanlik egri chizig'i silliqroq, chunki yorqinlik tutilish chuqurligiga monand sekin-astalik bilan o'zgaradi. To'liq tutilishlarda komponenta butunlay ko'rinmay qoladigan oraliq mavjud. Bu paytda umumiy yorqinlik deyarli o'zgarmas, ravshanlik egri chizig'idagi minimumida esa, yassi tub kuzatiladi.

Algol turidagi o'zgaruvchanlarda minimumlarning shaklidan orbita qiyaqligi haqida ham ma'lumot olish mumkin.

Minimumlarning davomiyligi yulduzlar radiuslari bilan orbita o'lchamlari nisbatiga bog'liqdir. Agar yulduz bir vaqtning o'zida ham spektral qo'shaloq bo'lsa, orbitaning haqiqiy o'lchamlarini topish mumkin. U holda sistemagacha masofani aniqlamasdan ham komponentalarning massalarini, orbita o'lchamini, binobarin, yulduzlarning radiuslarini aniqlash mumkin.

6.8-§. O'zgaruvchan yulduzlar

O'zgaruvchan miqdorlarga ega bo'lgan yulduzlar O'zgaruvchan yulduzlar deb ataladi. Yulduzlar yorqinligidagi o'zgarishlar birinchi bo'lib 16 - asr oxirida, Tycho Brahe super yangi yulduzi (Tycho Brahe's supernova) porlaganda (1572), va o Ceti (Mira) yulduzi yorug'ligi davriy o'zgarishi kuzatilganda (1596) yevropada qayd etilgan. Kuzatishlar aniqligi rivojlanishi bilan o'zgaruvchan yulduzlar soni doimiy ravishda ortib bordi. Eng yangi katalog taxminan 40 000 o'zgaruvchanligi ma'lum yoki shubhali o'zgaruvchan yulduzlarni o'z ichiga oladi. To'g'risini aytganda barcha yulduzlar o'zgaruvchan. 11 bo'limda ko'rib o'tganimizdek evolyutsiyasi davrida yulduzning tuzilishi va yorqinligi o'zgaradi. Bu o'zgarishlar, odatda sekin bo'lsa ham, ba'zi evolyutsion fazalarda ekstremal tez bo'lishi mumkin. Ba'zi evolyutsion etaplarda davriy o'zgarishlar, masalan, yulduzning tashqi qatlamining pulsatsiyalanishi ham bo'lishi mumkin.



6.16-rasm. Qiymat o'zgarishini vaqtning funksiyasi sifatida berilishi yulduzning yorug'lik grafi

Yulduzlar yorqinligida kichik o'zgarishlar uning sirtidagi issiq va sovuq dog'lar sababli, u o'z o'qi atrofida aylanganligi tufayli paydo bo'lish va yo'qolish sababli bo'ladi. Quyoshning yorqinligi quyosh dog'lari tufayli kuchsiz o'zgaradi. Ehtimol, bunday dog'lar barcha yulduzlarda bordir. Dastlab yulduzlar yorqinligi vizual ravishda uni yaqinidagi boshqa yulduz bilan taqqoslab aniqlangan.

Keyinroq, taqqoslashlar fotografik platalarda bajarildi. Hozirda enganiq kuzatishlar fotoelektrik ravishda yoki CCD kameradan foydalanib bajarilmoqda. Qiymat o'zgarishini vaqtning funksiyasi sifatida berilishi yulduzning yorug'lik grafi deyiladi (Rasm.69). Undan qiymato'zgarishining amplitudasini va agar u davriy bo'lsa uning davrinianiqlash mumkin.

O'zgaruvchan yulduzlarning asosiy katalogi astronom BorisVasilyevich Kukarkin tomonidan yozilgan General Catalogue ofVariable Stars hisoblanadi. Yangi, qo'shimcha nashrlar ham chiqmoqda; P.N. Kholopov tomonidan 1985-1987 yillarda qilingan to'rtinchi nashr Samon Yo'li galaktikasining 32 000 o'zgaruvchilarini o'z ichiga oladi.

O'zgaruvchan yulduzlarning konfiguratsiyasiga mos holda nom beriladi. Berilgan konfiguratsiya bo'yicha birinchi kashf etilgano'zgaruvchanning nomi R (in the genitive case). Ikkinchi o'zgaruvchanning simvoli S, va hokozo, to Z gacha. Bundan keyin ikki harfli simvollar, RR, RS, ... to ZZ gacha foydalaniladi va keyin AA dan to QZ gacha (I dan tashqari). Bu faqat 334 o'zgaruvchan uchun yetarli bo'ladi, va undan keyingilari uchun nomerlash quyidagicha davom etadi: V335, V336, va h.k. (V harfi o'zgaruvchan (variable) ma'nosini bildiradi). Ba'zi yulduzlar uchun, ularning o'zgaruvchan ekanligi keyinroq aniqlangan bo'lsada, Grek harfli simvollar saqlanib qolgan, masalan, (e. g. δ Cephei).

O'zgaruvchanlarning klassifikatsiyalanishi yorug'lik grafigining shakliga, va spektral klasslar va kuzatilgan radial harakatiga asoslangan. Spektr, yulduz atrofidagimaterialning to'yiqlik yutilish chiziqlaridan ham iborat bo'lishim mumkin. Shu bilan birga kuzatishlar optik sohadan tashqarida hambajarilishi mumkin. Ba'zi o'zgaruvchanlarning (chaqinyulduzlarning) radio nurlanishi ularning optik yorqinligibilan bir vaqtda kuchli ortadi. Radio va Rentgeno'zgaruvchalarga misollar radio va Rentgen pulsarlari va Rentgen barsterlari hisoblanadi.

O'zgaruvchanlar odatda uchta asosiy tipga bo'linadi: pulsatsiyalanuvchi (pulsating), eruptiv (eruptive) va tutiluvchi (eclipsing) o'zgaruvchanlar. Tutiluvchi o'zgaruvchanlar binar sistemalar bo'lib, komponentlar davriy ravishda bir-birining oldidan kesib o'tadi. Bu o'zgaruvchanlarda yorug'lik o'zgarishlari yulduzlardagi hech qanday fizikaviy o'zgarishlarga mos kelmaydi. Ular binar yulduzlar bilan bog'liqlikda o'rganiladi. Boshqa o'zgaruvchanlarda yorqinlikning o'zgarishi yulduzning ichki o'zgarishlari bilan bog'liqlik. Pulsatsiyalanuvchi o'zgaruvchanlarda o'zgarishlar tashqi qatlamlarning kengayishi va qisilishi bilan bog'liqlik. Bu o'zgaruvchanlarga gigantlar va supergigantlar bo'lib ular evolyutsiyasidan oturg'un etapga yetib borgan. Eruptiv o'zgaruvchanlar odatda massasini tarqatuvchi kuchsiz yulduzlar hisoblanadi.

Ular asosan masa bir komponentdan boshqasiga o'tadigan yaqin binar sistemalarning a'zosi bo'lib hisoblanadi.

Yana, bir nechta aylanuvchi o'zgaruvchanlar ham ma'lum bo'lib, ularda yorqinlikning o'zgarishi sirtidagi temperaturaning notekis taqsimoti bilan, yulduz aylanganda yulduz dog'ining ko'rinuvchi tomonga kelishi bilan bog'liqlik bo'ladi. Bunday yulduzlar yetarlicha umumiy bo'lishi mumkin - umuman olganda bizning Quyosh ham kuchsiz aylanuvchi o'zgaruvchan hisoblanadi. Aylanuvchi o'zgaruvchanlarning eng ma'lum guruhi magnit A yulduzlar hisoblanadi (ya'ni, $\alpha 2$ Canum Venaticorum yulduzlar). Bu yulduzlar yulduz dog'larining ortishiga sabab bo'luvchi kuchli magnit maydonga ega bo'ladi. O'zgaruvchanlarning aylanish davri 1 kundan to 25 kungacha, va amplitudasi 0.1 m a g dan kamroq.

Pulsatsiyalanuvchi O'zgaruvchanlar. Pulsatsiyalanuvchi o'zgaruvchanlarning spektral chiziqlarining to'liq uzunligi yorqinlik o'zgarishi bilan birga o'zgaradi. Bu o'zgarishlar Doppler effekti tufayli bo'lib ular yulduzning tashqi qatlamlari shubhasiz pulsatsiyalanadi.

Pulsatsiya davri yulduzning xususiy chastotasiga mos bo'ladi. Xuddi kamertonni urganda u xarakteristik chastotabilan tebrangani kabi, yulduz ham fundamental tebranish chastotasiga ega bo'ladi. Fundamental chastotaga qo'shimcha boshqa chastotalar, overtonlar, ham mavjud bo'lishi mumkin. Kuzatilayotgan yorqinlikning o'zgarish tebranishlarning barcha modalarining superpozitsiyasifatida qarab tushunilishi mumkin. 1920 yillar

atrofida ingliz astrofizigi Sir Arthur Eddington ko'rsatdiki, pulsatsiya davri P o'rtacha zichlikning kvadrat ildiziga teskari proporsional bo'ladi.

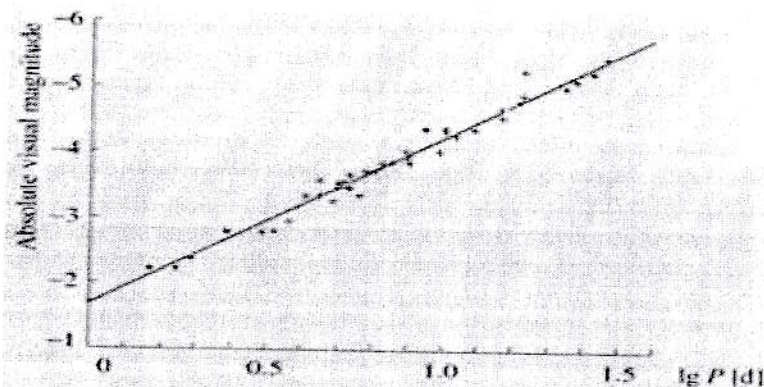
Yulduzning diametri pulsatsiya paytida ikki marta o'zgarishi mumkin, ammo odatda o'lchamlarning o'zgarishi juda kam bo'ladi. Yorug'lik o'zgarishining asosiy sababi sirt temperaturasi davriy ravishda o'zgarishi hisoblanadi. Yulduzning yorqinligi uning effektiv temperaturasi ga sezgir holda bog'liqlik, $L \propto T_e^4$.

Shunday qilib effektiv temperaturaning kichik o'zgarishlari yorqinlikning katta o'zgarishlariga olib keladi. Odatda, yulduz turg'un gidrostatik muvozanatda bo'ladi. Agar uning tashqi qatlamlari kengaysa, zichlik va temperatura kamayadi. Bosim u vaqtda kamroq bo'ladi va gravitatsiya kuchi gazni yana qaytadan qisqardi. Ammo, energiya gazning haarakatiga aylanmasdan turib bu tebranishlar bostiriladi.

Yulduzlar ichki qismidan keladigan nurlanish energiyasi oqimi, agar u gazning kattaroq zichlikli sohalarida yutilganda edi, yulduzlar tebranishlari uchun manba bo'la olardi.

Ammo bu, odatda, gaz qisilganda noshaffoflik haqiqatan ham katta bo'lib qoladigan, vodorod va geliy qisman ionlashgan ionizatsion zonalaridan tashqari hol emas. Agar ionizatsion zonalar atmosferaning kerakli chuqurligida joylagan bo'lsa, ionizatsion zonaning qisilish paytida yutilgan va kengayish paytida ajralgan energiya ossillyatsiyani hosil qilishi mumkin. Sirt temperaturasi 6000-9000 K bo'lgan yulduzlar bu noturg'unlikka moyil bo'ladi. HR diagramning bunga mo'limi cepheid noturg'unlik yo'lakchasi deyuladi.

Cepheidlar. Pulsatsiyalanuvchi o'zgaruvchanlarning orasida eng muhimlari cepheidlar bo'lib ular δ Cephei nomiga qo'yilgan. Ular F-K spektral klassning guruh I upergigantlari hisoblanadi. Ularning davri 1-50 kunlarni va ularning amplitudalari 0.1-2.5 miqdorlarni tashkil etadi. Yorug'lik grafigining shakli to'g'ri, tez yorqinlashish va undan keyin sekinroq pasayishni. Cepheidlarning davri va absolyut miqdori (ya'ni yorqinligi) o'rtasida aloqadorlik mavjud bo'lib, u 1912 yilda cepheidlardan Kichik Magellan Bulutida Henrietta Leavitt tomonidan kashf etilgan. Bu davr-yorqinlik bog'lanishidan (Rasm. 6.16) foydalanib yulduzlarga va yaqinroqdagi galaktikalarga bo'lgan masofani o'lchash mumkin.



6.17-rasm Cepheidlar uchun davr-yorqinlik bog'lanishi

Biz yuqorida ta'kidlagan edikki, pulsatsiya davri o'rtacha zichlikka bog'liq. Boshqa tomondan, yulduzning o'lchami, va demak uning zichligi uning umumiy yorqinligiga bog'liq. Shunday qilib nima uchun pulsatsiyalanuvchi yulduzlar davri va yorqinligi o'rtasida aloqadorlik mavjud ekanligini tushunish mumkin.

Klassik cepheidlarning miqdori M va davri P 70-rasmda ko'rsatilgan. M va $\log P$ o'rtasidagi bog'lanish chiziqli. Ammo, qandaydir qiymatgacha, cepheidlar yorqinligi rangdan ham bog'liq bo'ladi, ko'kroq yulduzlar yorqinroq. W Virginis Yulduzlari. 1952 yilda Walter Baade haqiqatda ikki tipdagi cepheidlar mavjudligini ta'kidladi: klassik cepheidlar va W Virginis yulduzlar. Ikkala tip ham davr-yorqinlik bog'lanishiga bo'ysunadi, ammo berilgan davrdagi W Vir yulduzlar shunga mos keluvchi klassik cepheidlarga nisbatan 1.5 miqdorlarga kuchsizroq. Bu farq klassik cepheidlar yosh guruh I dagi obyektlar, va W Vir yulduzlar guruh II dagi qari yulduzlar ekanligi tufayli kelib chiqadi. Boshqacha aytganda, o'zgaruvchanlarning ikki klassi o'xshash.

Oldinroq W Vir davr - yorqinlik bog'lanishi cepheidlarning har ikkala tipi uchun ham foydalanildi. Buning natijasida klassik cepheidlargacha bo'lgan masofajuda kam bo'lib chiqdi. Masalan, Andromeda Galaktikasigacha bo'lgan masofa klassik cepheidlarnikiga asolangan edi, chunki faqat ular bu masofada ko'rinishi uchun yetarlicha yorqin bo'lishi kerak. Davr - yorqinlik bog'lanishining to'g'riroq shaklidan foydalanilganda barcha ekstragalaktik masofalar ikkilanishi kerak bo'ldi. Samon Yo'ligacha bo'lgan masofani o'zgartirish shartbo'lmadi, chunki ularning o'lchashlari boshqa metodlarga asolangan edi.

RR Lyrae Yulduzlari. Pulsatsiyalanuvchi o'zgaruvchan yulduzlarning uchinchi muhim klassi RR Lyrae yulduzlar hisoblanadi. Ularning yorqinliklarining o'zgarishlari cepheidlarnikiga nisbatan kichukroq, odatda bir miqdorga kamroq. Ularning davrlari ham qisqaroq, bir kunga kam. W Vir yulduzlarga o'zshash RR Lyrae yulduzlar ham qari guruh II yulduzlari

hisoblanadi. Ular sharsimon yulduzlarklasterlarida juda umumiy, shuning uchun dastlab klastero'zgaruvchanlar deb atalar edi.

RR Lyrae yulduzlarning absolyut miqdori taxminan $M_V = -0.6 \pm 0.3$. Ularning barchasi qo'pol qilib aytganda bir xil osh va massaga ega, va shuning uchun bir xil, geliy yadroga endigina yona boshlagan evolyutsion fazaga to'g'ri keladi. RR Lyrae o'zgaruvchanlarining absolyut miqdorlari ma'lum bo'lgani uchun, ular sharsimon klasterlargacha bo'lgan masofani aniqlashda foydalanilishi mumkin.

Fizik o'zgaruvchan yulduzlar ravshanliklarning o'zgarishi, shu yulduzlarning qa'rida kechadigan fizik jarayonlar hisobiga bo'ladi. Fizik o'zgaruvchan yulduzlar, ravshanliklarining o'zgarishi xarakteriga ko'ra, pulsatsiyalanuvchi va eruptiv o'zgaruvchan yulduzlarga bo'linadi.

Pulsatsiyalanuvchi o'zgaruvchan yulduzlar - ravshanliklarining bir maromda (me'yorda) o'zgarishi bilan xarakterlanadi. Bu xildagi o'zgaruvchan yulduzlarning ravshanliklarining o'zgarishi, asosan, ularning sirt qatlamlarining pulsatsiyalanishi hisobiga bo'lgani uchun ham ular shunday nomlanadi. Pulsatsiyalanish tufayli bunday yulduzlarning radiuslari ortayotganda, ularning yorqinligi va temperaturasi maksimumga erishadi, aksincha kichrayayotganda (ya'ni yulduz siqilayotganda) esa, yorqinligi va harorati kamayadi. Pulsatsiyalanuvchi o'zgaruvchan yulduzlar, davrlarining uzunligi va ravshanliklarining o'zgarish darajasiga ko'ra quyidagi tiplarga bo'linadi:

Sefeidlar - ravshanliklarining egriligi alohida shaklga ega bo'lib, ularning asosiy kattaliklaridan hisoblangan yulduz kattaliklarining vaqt bo'yicha o'zgarish davrlari bir necha sutkadan bir necha unlab sutkagacha etadi. Ravshanligining egriligi Sefey yulduz turkumi δ sining o'zgarishiga uxshashligi uchun ham bunday yulduzlar sefeidlar deb ataladi. Sefeidlar ravshanligining o'zgarishi 0,1 dan 2,0 yulduz kattaligiga qadar bo'ladi.

Sefeidlar ravshanligining maksimumida F spektral sinfga mansub yulduz ko'rinishida bo'lib, minimumida G, K sinflariga mansub yulduz ko'rinishini oladi. Ravshanliklarining bunday o'zgarishi, yulduz temperaturasining o'rtacha 1500 gradusga o'zgarishiga mos keladi. Sefeidlar spektrida kuzatiladigan chiziqlar, ularning ravshanliklarining o'zgarishiga mos ravishda qizil va binafsha tomonga siljib turadi. Bunday siljishlar ham davriy xarakterga ega bo'lib, qizil siljishning maksimumi - sefeid ravshanligining minimumiga, binafsha siljishning maksimumi esa - yulduz ravshanligining maksimumiga to'g'ri keladi. Sefeidlarning davrlari va ravshanliklari orasida bog'lanish mavjud bo'lib, ularning ravshanliklarining ortishi davrlarining ortishida o'z aksini topadi.

Sefeidlar F va G sinflarga kiruvchi gigant va o'tagigant yulduzlar bo'lganidan ularni Galaktikamizdan tashqaridagi obyektlarda ham ko'rishning imkoni bor.

RR Lira tipidagi o'zgaruvchan yulduzlar - A spektral sinfiga kiruvchi gigant yulduzlar bo'lib, ravshanligining o'zgarish intervali 1 dan 2 yulduz kattaligiga qadar bo'ladi. Spektral sinflarining o'zgarishi A va F sinflar bilan chegaralanadi. Bu tipdagi yulduzlarning ravshanliklarining o'zgarish davri 0,05 sutkadan 1,2 sutkagacha bo'lib, juda katta aniqlik bilan kuzatiladi.

Sefey yulduz turkumining β yoki Katta It yulduz turkumining β si tipidagi fizik o'zgaruvchan yulduzlar - ravshanligining egriligi bo'yicha RR tipidagi yulduzlarni eslatib, yorqinligining juda kam o'zgarishi (0,2 yulduz kattaligida) bilan ulardan farqlanadi. Bu tipdagi yulduzlarning o'zgarish davri 3 soatdan 6 soatgacha borib, sefeidlarniki kabi, ravshanliklarining o'zgarishi davriga bog'liq bo'ladi.

Savr yulduz turkumining RV tipidagi yulduzlar - ravshanligining o'zgarish davri nisbatan doimiyligi bilan boshqa tipdagi fizik o'zgaruvchan yulduzlardan farq qiladi. Ularning davri 30 sutkadan 150 sutkagacha borib, ravshanliklari 3 yulduz kattaligiga qadar o'zgaradi. Bu tipdagi yulduzlarning spektral o'zgarish chegarasi G' sinfdan K sinfgacha boradi.

Kit yulduz turkumidagi Mira tipidagi yulduzlar, uzun davrli o'zgaruvchan yulduzlardan bo'lib, ularning o'zgarish davri 80 sutkadan 1000 va undan ortiq sutkagacha boradi. Ravshanligining o'zgarish amplitudasi esa 2,5 yulduz kattaligigacha etadi. Bunday yulduzlar yorqinligining maksimumida uning spektrida ravshanligining minimumida kuzatilgan metall chiziqlari o'rnini vorodning emission chiziqlari oladi.

Egizaklar yulduz turkumidagi U tipidagi eruptiv o'zgaruvchan yulduzlar V va A sinfiga kirib, yorqinliklari nisbatan kam o'zgaradigan yulduzlardir. Biroq ba'zan bunday yulduzlarning ravshanligi 1-2 kun ichida 2 dan 6 yulduz kattaligigacha ortadi va bir necha kundan so'ng o'z holatiga qaytadi.

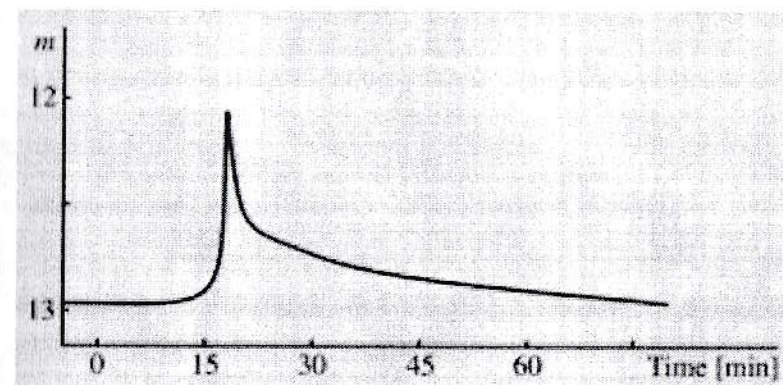
Kit yulduz turkumidagi UV tipidagi mitti yulduzlar M spektral sinfiga kiruvchi eruptiv o'zgaruvchan yulduzlar bo'lib, ba'zan juda qisqa davrli chaqnashlarni boshidan kechiradi. Chaqnash paytida ularning ravshanligi 1-6 yulduz kattaligigacha o'zgaradi. Chaqnash bir necha o'n minutcha davom etgani holda minimal chaqnash boshlanishidan bir necha sekund keyin maksimumga etadi.

6.9-§. Yangi va o'tayangi yulduzlar

Eruptiv o'zgaruvchan yulduzlar-asosan mitti yulduzlar bo'lib, ularning o'zgaruvchanligi, vaqti-vaqti bilan qaytalanuvchi chaqnash ko'rinishida

bo'ladi. Bunday chaqnashlar, mazkur yulduzlardan uloqtirilgan plazmaning uloqtirilishi (erupsiya) bilan tushuntirilgani uchun ham ular eruptiv o'zgaruvchan yulduzlar deb yuritiladi. Eruptiv o'zgaruvchan yulduzlarning yarmidan ko'pi Aravakash yulduz turkumining RW tipidagi yulduzlardir. Bunday tipdagi o'zgaruvchan yulduzlarning ravshanligi shu qadar noto'g'ri o'zgaradiki, natijada hech qanday qonuniyat bilan bu o'zgarishni belgilab bo'lmaydi. Aravakashning RW tipidagi ma'lum bir yulduz ravshanligi ba'zan juda tez (1 soatda 1 yulduz kattaligiga) o'zgargani holda, ba'zan juda sekin (1 sutkada 0,1 yulduz kattaligiga) o'zgaradi. Umuman bunday yulduzlarda ravshanlikning o'zgarish amplitudasi 0,1 dan 3 yulduz kattaligigacha borishi mumkin. Bu xil fizik o'zgaruvchan yulduzlarning ko'pchiligi G spektral sinfidagi yulduzlar bo'lib, faqat ayrimlarigina V sinfdan M sinfgacha uchraydi.

O'tayangi yulduzlar - eruptiv o'zgaruvchi yulduzlar bo'lib, yorqinligi keskin o'zgaruvchi (chaqnovchi) yulduzlardir. Ularning chaqnashlari portlash hisobiga bo'ladi. Portlash tufayli bunday yulduzlarning ravshanligi bir necha kun davomida o'nlab million marta ortadi ya'ni yulduz kattaligi o'nlab yulduz kattaligiga ortadi. Yulduz o'z ravshanligining maksimumiga erishganda, o'zi joylashgan Galaktika ravshanligiga, undan ham bir necha marta ko'p ravshanlikka ega bo'ladi va ravshanligining maksimumida, uning absolyut yulduz kattaligi -18 dan to -19 yulduz kattaligigacha etadi. O'tayangi yulduzlar o'z yorqinligining maksimumiga, portlash yuz bergandan keyin 2-3 hafta o'tgach erishadi va so'ngra bir necha oy davomida uning yorqinligi 25-30 marta kamayadi. Chaqnash davomida, o'tayangi yulduzlar umumiy nurlanish energiyasi 10^{48} - 10^{49} erggacha etadi.

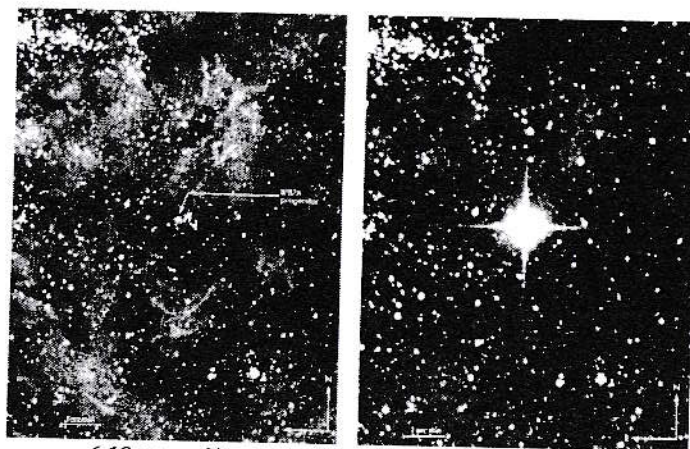


6.18-rasm. Yangi yulduz yorqinligining o'zgarishi

Ma'lum galaktikada o'tayangi yulduzlarning chaqnashi, taxminan 100 yil ichida 1-2 martagina bo'lishi mumkin. Tarixda bizning Galaktikamizda ham

bir necha o'tayangi yulduzlarning chaqnashi kuzatilgan. Bular ichida Savi yulduz turkumida 1054 yilda Xitoy astronomlari tomonidan kuzatilgani eng quvvatlaridan hisoblanadi. Bu yulduzni, uning portlashdan so'ng bir necha kun davomida kunduzi ham ko'rishning iloji bo'ldi. 1572 yili boshqa bir o'tayangi yulduz Tixo Brage tomonidan Kassiopeya yulduz turkumida, 1604 yili esa, Kepler tomonidan Ilon Eltuvchi yulduz turkumida kuzatildi.

Garchi o'tayangi yulduzlarning chaqnash mexanizmiga doir nazariya hali to'la ishlab chiqilmagan bo'lsa-da, hozircha yulduzlarning portlashi, ularni evolyusiyalarining oxirgi stadiyasida vujudga keladigan nomuvozanatlikning oqibati deb qaraladi. Chaqnash paytida bunday yulduzlar, $0,1 \div 1,0$ Quyosh massasiga teng o'z moddasini 6000 km/s tezlik bilan yulduzlararo bo'shliqqa uloqtiradi.



6.19-rasm. O'tayangi yulduzning portlashidan qoldiqlar

O'tayangi yulduzlar ravshanliklarining vaqt bo'yicha o'zgarish xarakteri va spektriga ko'ra ikki tipga bo'linadi. o'tayangi yulduz- larning I tipi, II tipiga nisbatan 5-10 marta ravshan bo'lib, ravshanligining maksimumiga tez erishadi va bu davrda uning spektri tutash spektrga aylanadi. So'ngra ko'p o'tmay uning spektrida keng nurlanish polosalari paydo bo'ladi. o'tayangi yulduzlarning II tipiga tegishli yulduzlarning spektrida vodorod, geliy, azot va boshqa elementlarning yutilish va nurlanish chiziqlari paydo bo'ladi.

O'tayangi yulduzlarning I tipi chaqnashdan so'ng o'z maksimumiga taxminan 15 sutkalarda erishib, bir necha kun maksimum holatda bo'ladi, shundan so'ng 20-30 kunda ravshanligi 2 - 3 yulduz kattaligiga kamayib, keyin ravshanligining kamayishi sekin-asta kechadi va sal kam bir yilda (300-350 kunda) dastlabki holatiga qaytadi. Jami bo'lib 60 dan ortiq o'tayangi yulduzlarning fotosuratlarini olingan.

VII-bob. GALAKTIKA ASTRONOMIYASI ASOSLARI

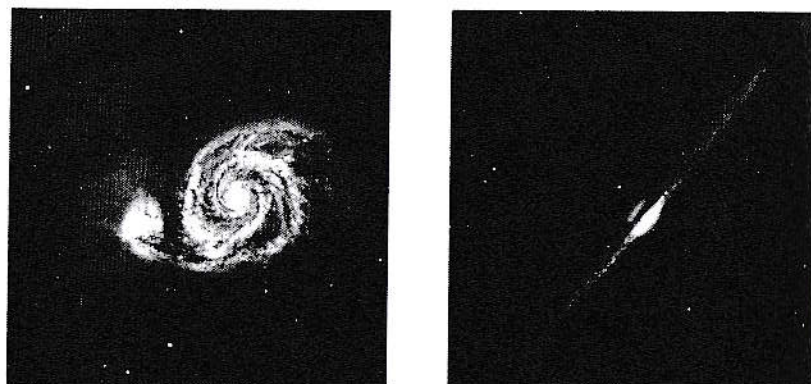
7.1-§. Somon Yo'li Galaktikasi va uning ichki tuzilishi

Astronomiya fani jadal rivojlanib kelayotgani bizga ma'lum. Uning asosiy bo'limlaridan biri " yulduzlar astronomiyasi" deyilib, u bizning yulduzli uyimiz - Somon Yo'li Galaktikamizning yulduzlari statistikasi, kinematikasi hamda dinamik evolyusiyasiga oid masalalarni o'rganish bilan shug'ullanib kelgan. Oxirgi 30 yil mobaynida yulduzlar astronomiyasi bo'limi, avvalambor, keskin kengaygan bo'lsa, undan tashqari u faqat bizning Galaktikamiz yulduzlari bilan chegaralanishi zarurligi ma'lum bo'ldi. Shu tariqa yulduzlar astronomiyasi bugun "Galaktika astronomiyasi" nomini oldi.

Gap bizning Galaktikamiz haqida borayotganini bildirish maqsadida uning bosh harfi doim katta yozilishi kelishib olingan. Biz uning ichidan joy olganimiz sababli, Koinotning aynan shu ob'ektining ichki tuzilishi kabi masalalarni o'rganishimiz ancha qiyin. Uni Erdan turib ko'rish maqsadida obihavo ochiq va Oysiz kechada osmonga qarasak, yulduzlardan iborat yoriq bir yo'lni ko'ramiz. U somon sepib chiqilgan uzun yo'lga o'xshaydi. Somon Yo'liga teleskop bilan qaralsa, u g'ij-g'ij yulduzlardan tashkil topganini ko'rish mumkin. Ushbu yulduzlarning barchasi (ular 120 mlrd. dan ortiq) birgalikda bizning Galaktikamizni tashkil qiladi.

Yo'lida "chaqaloq" yulduzlarni, turli qaynoq gigant va o'ta gigant yulduzlarni, rentgen manbalarini, umri oxiriga etgan yoki so'ngan yulduzlarni, ichki zichlig o'ta zich bo'lgan qator obektlar turlarini hamda yulduzlarning tug'ilish o'choqlarini, xususan, molekulyar bulutlarni kuzatamiz. Galaktikamizning shakli, o'xshatish qilib aytganda, ikkita tarelkani og'zini-og'ziga qaratib bir-birini ustiga qo'ygandagi ko'rinishga juda o'xshab ketadi. Galaktikamizda alohida yulduzlardan tashqari yulduzlarning to'dalari ham mavjud. Bunday to'dalar tarqoq va sharsimon ko'rinishlarda uchraydi. Shuningdek, Galaktikamizda katta miqdorda vodorodning turli siyrak gazlari va chang zarralaridan tashkil topgan diffuz, gaz - chang tumanliklari ham mavjud.

Galaktikamiz o'lchami haqida gapirsak, uning diametri 100 ming yorug'lik yiliga teng bo'lib, markazidan taxminan 30 000 yorug'lik yili masofada Quyosh sistemasi joylashgan. Galaktikamizning bizga eng yaqin joylashgan yulduzigacha masofa 4,3 yorug'lik yiliga teng bo'lib, bizdan eng uzoq qismlarigacha masofa salkam 80 ming yorug'lik yiligacha boradi.

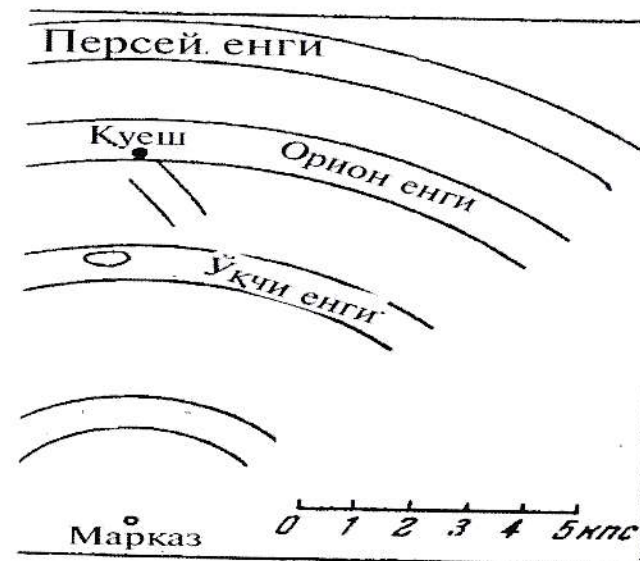


7.1 – rasm. Bizning galaktikamizning ko'rinishi.

Galaktikamiz tuzilishi bo'yicha u markaziy **yadro**, atrofida elliptik ko'rinishga ega bo'lgan **balj** deb ataluvchi qavariq qism, ekvatorial **disk**, so'ngra **galo** va nihoyat **tojdan** iborat. Uning disk tekisligida asosan spiralsimon tarmoqlar kuzatiladi Galaktikamizning markazidagi yadrosi Qavs yulduz turkumiga proeksiyalanib, u bu yo'nalishdagi mavjud qoramtir tumanliklar tufayli bizga ko'rinmaydi. Infraqizil nurlarda uni kuzatish, markaziy yadro qismining burchakli o'lchami taxminan bir necha gradusni tashkil qilishi aniqlangan.

Galaktikamiz, sinfiga ko'ra, spiral galaktika bo'lib, uning markaziy qismida ikkita spiral tarmoqni ulab turuvchi bar (ulagich) borligi uchun uni SB sinfiga kiritish taklif qilinmoqda. Uning markazida o'lchami 10 pk atrofida tez aylanuvchi ob'ekt kuzatiladi. U, quyuq gaz – chang materiya bilan o'ralgan hamda ultrabinafsha va ko'zga ko'rinadigan nurlarni kuchli yutadigan yulduzlarning o'ta zich to'dasiga o'xshaydi. Shuningdek u, tabiati jihatidan bizga hozircha butunlay noma'lum ob'ekt bo'lishi ham ehtimoldan holi emas. Lekin Galaktikamiz yadrosi markazida massasi taxminan kamida 4 million Quyosh massasiga yaqin bo'lgan qora o'ra mavjud deb hisoblanmoqda. Shuni aytib o'tish o'rinliki, massiv yulduzlar evolyusiyasining oxiri qora o'ra bilan yakunlanib, Galaktikamizning boshqa qismlaridagi bunday o'ralar soni bir necha millionni tashkil qiladi. Galaktika markazidan 3 kpk masofada, radioastronomik metod yordamida, markazdan chetga tomon 50 km/s tezlik bilan kengayayotgan vodorod xalqasining shohobchasi topilgan.

Galaktikamiz diskining Quyosh joy olgan qismi atrofida bir necha spiral tarmoqlar topilgan bo'lib, ular bo'ylab yosh yulduzlarning tarqoqsimon to'dalari, yulduzlararo gaz-chang materiya, yubduzlarning tug'ilish o'choqlari joylashgan.



7.2 – rasm. Galaktikamiz tuzilishi

Masalan, Orion yulduz turkumida joylashgan yosh va turli qaynoq yulduzlar «Orion engi» deb ataluvchi tarmoqni hosil qilib, uning bir chetida Quyosh joylashadi. Bundan tashqari galaktikamizda yana ikki yirik tarmoqlar – Qavs engi tarmog'i (Galaktika markazi tomonda) va Persey tarmog'i (Galaktika markazidan qarama-qarshi tomonda)ning mavjudligi aniqlandi (7.2 -rasm).

7.2-§. Galaktikamizning tashkil etuvchilari.

Demak, Galaktikamizning katta masshtabdagi ichki tuzilishi asosan ma'lum yupqa disk, uning markazida kichik yadro, atrofida qafariq balj, diskni o'rab turuvchi nisbatan katta ellipsoidal galo va undan keyin ulkan tojdan iborat ekan. Kuzatuvlarga ko'ra, ushbu har bir qismning o'zining ayrim boshqa qismda deyarli uchramaydigan ob'ektlari mavjud. Lekin hozircha, o'zaro keskin farq qiluvchi qismlar ob'ektlari aniq ajratib ulgurilgani yo'q, ammo o'rta hisobda Galaktikamiz tarkibi va tuzilishi jihatidan uni 2 ta tashkil etuvchilarga oson ajratish mumkin. Qizig'i shundaki, ularda biri qismida ikkinchisi kuzatilmaydi va teskarisi. Ular nomi "tekislik" va "sfera" tashkil etuvchilar deb ataladi.

Tekislik tashkil etuvchi qism Galaktimiz diski va unga yaqin fazodan joy olgan bo'lib, tarkibiga yosh, qaynoq bo'lgan, spektral sinflari O va B turlariga mansub yulduzlar, eng yosh qaynoq yulduzlar, uzun davrli sefeidlar, yangi va o'ta yangi yulduzlar, molekulyar va turli gaz-chang bulutlari hamda yulduzlarning tarqoqsimon to'dalari kiradi. Bu obyektlar Galaktikaning Somon Yo'li qismida joylashib, lekin ular uning yadrosi va uning atrofida kuzatilmaydi deyish mumkin. Ba'zan bu ob'ektlarni ba'zi avtorlar I – tur to'plami yoki tashkil etuvchilari ham dedilar. II – tur to'plami yoki "sfera" tashkil etuvchilari esa, asosan, yulduzlarning sharsimon to'dalari, qisqa davli sefeidlar, subkarliklar va turli qari yulduzlar, hususan, qora o'ralardan iborat. II – tur ob'ektlari Galaktikamizning galo va, qisman, yadro qismida kuzatiladi. Demak, Galaktikamiz evolyusiyasining bosh bosqichlarida dastlab sfera tashkil etuvchilar ob'ektlari tug'ilib, keyinchalik esa ma'lum modda uning ekvator qismida yig'ilib, undan I – tur ob'ektlari vujudga kelgan. Shu sababli tekislik tashkil etuvchilarda metallilik miqdori nisbatan anacha katta.

Galaktikamizning yuqorida aytilgan qator qismlarining aniq tarkibi va chegarasini ko'rsatish uchun birinchi navbatda ular yulduzlarigacha bo'lgan masofani bilish talab etadi. Yulduzlargacha masofalarni bilish, ularning fazodagi taqsimotini aniqlashga, binobarin Galaktikaning sktrukturasini o'rganishga imkon beradi. Galaktikaning turli qismlarida yulduzlar sonini xarakterlash uchun yulduzlar soni bo'yicha zichligi tushunchasi kiritiladi. Yulduzlar zichligi 1 parsek kub hajmdagi yulduzlarning sonini xarakterlaydi. Hisob-kitoblar Quyosh atrofidagi zonada yulduzlarning zichligi 0,12 parsek kub ekanligini ma'lum qildi.

Osmonning turli qismlarida yulduzlarning zichligini aniqlash uchun har bir kvadrat gradusdagi yulduzlar sonini hisoblash zarur bo'ladi. Bunday hisoblashlar yulduzlar soni Galaktika ekvatoriga yaqinlashganimiz sari oshib borishini ko'rsatdi. Bu hol Galaktikamiz, uning aylanish o'qi bo'ylab siqilgan ko'rinishda bo'lib, Somon Yo'li uning markaz atrofida aylanish o'qiga perpendikulyar eng katta radiusli qismiga to'g'ri kelishini va Quyosh (aniqrog'i Quyosh sistemasi) aynan shu simmetriya tekisligi yaqinida yotishini ma'lum qiladi.

Galaktikamiz strukturasiga tegishli, boshqa bir muhim xulosaga, uning ma'lum bir sohasida barcha yulduzlarning hisobini birdaniga emas, balki yulduzlar sonini har bir yulduz kattaligigacha alohida-alohida, ya'ni dastlab ko'rinma yulduz kattaligini m_k kattalikkacha bo'lgan yulduzlar soni N_k ni, so'ngra m_{k+1} kattalikkacha bo'lgan yulduzlar soni N_{k+1} ni va hokazo hisoblash orqali erishish mumkin.

Agar bunda yulduzlarning zichligi, masofani ortishi bilan o'zgarmaydi va ularning barchasi bir xil yorqinlikka ega deb qaralsa, u holda, yulduzlar xiralashgan sayin (ya'ni ko'rinma yulduz kattaliklari ortgan sayin) ularning sonining ortib borishi; kuzatish qamrayotgan masofa ortishi bilan osmonning aniq bir yuzasiga proeksiyalanayotgan hajm ham ortib borishi orqali oson tushuntiriladi. Osmonning ma'lum bir sohasida yulduz kattaligi m ga teng va

undan kichik yulduzlar, tegishli mos radius bilan chegaralangan shar sektori ichida joylashadi:

$$\lg r_m = 1 + 0,2(m - M). \quad (7.1)$$

Barcha yulduzlarning yorqinliklari bir xil deb olganimizda ularning yulduzlari absolyut yulduz kattaliklari ham bir xil M bo'ladi deb qaraymiz. Yulduz kattaligi $m+1$ ga teng va undan kichik yulduzlar esa, r_{m+1} – radiusli shar sektori ichida yotib, u ushbu ifodadan topiladi:

$$\lg r_{m+1} = 1 + 0,2[(m+1) - M]. \quad (7.2)$$

Bu tenglamadan oldingisini ayirsak

$$\lg r_{m+1} - \lg r_m = 0,2 \quad (7.3)$$

yoki

$$\lg \frac{r_{m+1}}{r_m} = 0,2 \quad (7.4)$$

qoladi. Yulduzlarning zichligi o'zgarmaganda, ularning soni bu yulduzlar egallagan hajmning (binobarin radiuslarining) kubiga proporsional bo'lishini e'tiborga olsak

$$\frac{N_{m+1}}{N_m} = \left(\frac{r_{m+1}}{r_m} \right)^3 = (10^{0,2})^3 = 10^{0,6} \quad (7.5)$$

yoki

$$\lg \frac{N_{m+1}}{N_m} = 0,6, \quad (7.6)$$

ya'ni

$$\frac{N_{m+1}}{N_m} = 4 \quad (7.7)$$

bo'ladi. Biroq kuzatishlar, m ortishi bilan yulduzlar soni bu qadar tez ortmasligini ko'rsatadi. Xususan m ning uncha katta bo'lmagan qiymatlari uchun $\frac{N_{m+1}}{N_m} \approx 3$ ga yaqin, $m=17$ yulduzlar uchun esa $\frac{N_{m+1}}{N_m} \approx 2$ chiqadi. Agar barcha yulduzlarning yorqinliklari bir xil deb qaralsa, u holda kuzatiladigan

$\frac{N_{m+1}}{N_m}$ ning qiymatlarini solishtirib, Quyoshdan uzoqlashayotgan barcha yo'nalishlarda, yulduzlarning zichligi kamayib borishi ma'lum bo'ladi. Agar yo'nalish bo'yicha, yulduzlararo bo'shliqda nurning yutilish aytarli bo'lmasa, bundan Galaktikamizning cheklanganligi haqida mulohaza kelib chiqadi.

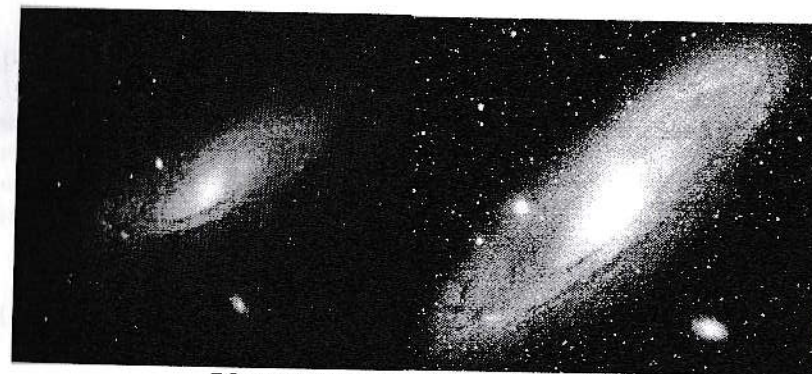
Qilingan mulohazalar, aslida nisbatan murakkab masalani echish uchun yana bir asos bo'ladi xolos. Bu masala, aslida, yulduzlar bir xil yorqinlikka ega emasligini va kuzatish natijalari yulduzlararo muhit tomonidan sezilarli o'zgartirilishini hisobga olishi tufayli juda murakkab masalalardan sanaladi. Bu masalani hal qilishda, turli yorqinlikdagi yulduzlar uchun fazoni ma'lum sohasida M dan $M+1$ absolyut yulduz kattaligigacha bo'lgan yulduzlar, umumiy yulduzlar sonining qancha miqdorini tashkil etishini hisobga oladigan *yorqinlik funksiyasi* - $\phi(M)$ deb ataluvchi kattalik kiritiladi. Agar yorqinlik funksiyasi ma'lum bo'lsa, u holda, turli masofalarda yulduzlarning zichligini hisoblash masalasi, ma'lum qiyinchiliklarga qaramay, hal qilsa bo'ladigan masaladir.

Amalda bu masala turlicha hal qilingan bo'lib, Galaktikamiz simmetriya tekisligi deyiluvchi asosiy tekisligiga nisbatan deyarli simmetrik ko'rinishdagi, qutblari siqilgan ko'rinishga ega. Somon Yo'lining o'rta chizig'i bilan deyarli mos keladigan va osmon sferasi bilan kesishganda, hosil qiladigan katta aylanasi - galaktik ekvator deyiladi. Mazkur sistemaning markazi, Galaktika markazi deyilib, u Quyosh sistemasidan qaraganda, Qavs yulduz turkumiga proektsiyalanadi. Uning ekvatorial koordinatalari, mos ravishda $\alpha = 17^h 40^m$, $\delta = -29^\circ$ ni tashkil qiladi.

Galaktika markaziga yaqinlashgan sayin yulduziy zichlik ortib boradi. Shunday qilib Galaktikada yulduzlarning zichligi, uning tekisligi va uning markaziga tomon ortib borish xususiyatiga ega.

Yulduzlar zichligini, uning keskin kamayadigan masofalarini hamda Quyosh atrofi zonasida aniqlash, Galaktikamizning o'lchamlari haqida ma'lumot beradi. Aniqlanishicha, Quyosh, Galaktika markazidan qarama-qarshi tomonda yotuvchi uning chegarasigacha masofa esa 5 ming pk bilan xarakterlanadi. Bundan Galaktikamizning diametri 30 kpk atrofida ekanligi ma'lum bo'ladi. Quyoshning Galaktika ekvatorial tekisligidan uzoqligi esa 25 parsekni (shimoliy qutb tomonga) tashkil etadi.

Demak, Galaktikaning katta disk qismini tashkil etgan ob'ektlari - O va B spectral sinfiga kiruvchi yulduzlari, sefeidlar, tarqoq yulduz to'dalari, o'tayangi yulduzlarning 2 - rusumlilari va yulduz assotsiyalari, Galaktika tekisligida yotuvchi yupqa qalinlikdagi tekislik bilan chegaralangan fazoda joylashadi (7.2-rasm). Bu ob'ektlar haqida gap ketganda, ularning Galaktikamizning tekisligi sistemacha- sining ob'ektlari deb eslanadi.



7.3 - rasm. Galaktikamizning koinotdan ko'rinishi

Biroq Galaktikamizning boshqa ob'ektlari, xususan, Liraning RR, Sumbulaning W, o'tayangilarning 1-rusumlilari, submittilar, sharsimon to'dalar egallagan hajm, nisbatan ulkan ellipsoid bilan chegaralanadi. Shuning uchun ham ular Galaktikamizning sferoidal (ba'zan sferik) sistemacha ob'ektlari deyiladi. Galaktikamiz kinematikasini o'rganish, u Andromeda tumanligining strukturasiga o'xshash spiral strukturaga ega ekanligini tasdiqlaydi (7.3 - rasm).

7.3-§. Quyosh sistemasining xarakati

Yulduzlarning xarakati yoki tezligi xaqida gapirganimizda biz biror markazga yoki yulduzlar gruppasiga nisbatan qaraymiz. Agar Galaktikamizdagi yulduzlar tezliklarining komponentalarini δ_i, y_i, z_i ($i \in [1, N]$) deb olsak, u xolda Galaktika inersiya markazini aniqlash uchun quyidagi formuladan foydalaniladi:

$$\sum_{i=1}^N \delta_i = \sum_{i=1}^N y_i = \sum_{i=1}^N z_i = 0 \quad (7.8)$$

Tezlik komponentalarini topishda Quyosh sistemasining xarakatini hisobga olish kerak. Agar markaz sifatida Galaktika inersiya markazi qaralsa:

$$\delta_i - \delta_\Theta = \Delta \delta_i; \quad y_i - y_\Theta = \Delta y_i; \quad z_i - z_\Theta = \Delta z_i \quad (7.9)$$

ga ega bo'lamiz xamda (7.8) ni hisobga olsak:

$$\dot{\alpha}_0 = -\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \Delta \dot{\alpha}_i; \quad \dot{\gamma}_0 = -\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \Delta \dot{\gamma}_i; \quad \dot{z}_0 = -\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \Delta \dot{z}_i \quad (7.10)$$

hosil bo'ladi. Bu formula yordamida Quyosh koordinatalarini aniqlab bo'lmaydi, chunki hamma yulduzlarning tezliklari komponentalari ma'lum emas. Shuning uchun joyning inersiya markazi tushunchasini kiritamiz va $n \ll N$ deb olinadi.

$$\dot{x}_0 = -\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta \dot{x}_i; \quad \sum_{i=1}^n \dot{x}_i = \sum_{i=1}^n \dot{y}_i = 0 \quad (7.11)$$

Bu grupp uchun qanday qilib $\dot{\alpha}_i, \dot{\gamma}_i, \dot{z}_i$ lar aniqlanadi. Buning uchun μ, π, ϑ_r larni bilishimiz kerak. Bu erda ϑ_r -nuriy tezlik va u spektral analizdan topiladi, π - yillik parallaks, μ - xususiy xarakat.

$$\vartheta = \sqrt{\vartheta_r^2 + \vartheta_t^2} \text{ -fazoviy tezlik,} \quad (7.12)$$

ϑ_t -transversal tezlk (fazoviy tezlikning rasm tekisligiga proeksiyasi), μ - yulduzning yil davomidagi siljishi:

$$\vartheta_t = k\mu; \quad k = 4,738 \text{ Мс ек } \mu_x = \mu_\alpha \cos \delta; \quad \mu_y = \mu_\delta \quad (7.13)$$

Sentroid tushunchasini kiritaylik. Bizning sistemamizda Quyosh atrofida kichik bir xajmni olamiz. Unda

$$\bar{\vartheta} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \vartheta_i \quad (7.14)$$

$\bar{\vartheta}$ - olingan xajm xarakatining o'rtacha tezligi. Bu tezlik sakrab-sakrab o'zgarishi mumkin, yoki bo'lmasa sekin va bir tekis o'zgaradi. Biz xajmni yoki n sonini shunday olishimiz kerakki, bunda ularni kichiklashtirishimiz bilan qaralyapgan o'rtacha tezlik sekin va bir tekis o'zgarsin. U xolda joy inersiya markaziga sentroid deyiladi. $\bar{\vartheta}$ shu nuqtaning tezligi bo'lib qoladi. Xuddi shunday ishni butun sistema uchun qo'llash mumkin. Natijada Galaktika tezlik maydoni uzluksiz bo'ladi va tezlik taqsimot funksiyasini kiritish mumkin. 6^m yulduz kattaligigacha bo'lgan yulduzlarga nisbatan Quyoshning xarakati o'rganilib, Vega yo'nalishida yulduzlar xarakatining appeksi ko'rsatilgan. Bu nuqta uchun koordinatalar aniqlangan:

$$A = 18^h = 270^\circ; \quad D = +30^\circ \quad (7.15)$$

A-appeksning to'g'ri chiqishi, D-appeksning og'ishi deyiladi.

$\vartheta_0 = 19,5 \text{ km/sek}$ -joy sentroidiga nisbatan Quyoshning tezligi.

$\vartheta_0 = 19,5 \text{ Мс ек} = 2,02 \cdot 10^{-5} \text{ п } \sigma' \text{ й ил} = 4,15 \text{ а.б./ yil}$ -lokal (standart) Quyosh xarakati tezligi xam deyiladi.

Agar biz faqat bosh ketma-ketlikdagi yulduzlarni olsak, u xolda quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\begin{cases} A = 17^h 40^m = 265^\circ \\ D = +21^\circ \\ \vartheta_0 = 15,5 \text{ Мс ек} \end{cases} \quad (7.16)$$

Galaktikamiz markaziga nisbatan Quyosh xarakati tezligi $V_0 = 250 \text{ М сек}$ ga teng bo'ladi. Bu xolda Quyoshdan Galaktikamiz markazigacha bo'lgan masofa $R = 10 \text{ kps}$ bo'ladi va tezlik komponentalari quyidagicha bo'ladi:

$$u_0 = V_0 \cos A \cos D; \quad \vartheta = V_0 \sin A \cos D; \quad \omega = V_0 \sin D \quad (7.17)$$

Agar $\vec{\vartheta}$ yulduzning fazoviy tezligi ma'lum bo'lsa, u xolda $\vec{\vartheta} - \vec{\vartheta}_c = \vec{\vartheta}'$ ni yozish mumkin. Bu erda $\vec{\vartheta}_c$ -sentroidning tezligi, $\vec{\vartheta}'$ -qoldiq tezlik yoki pikulyar tezlik deyiladi.

7.4-§. Yulduzlarning tarqoqsimon va sharsimon to'dalari

Koinotda yulduzlar faqat yakka holda uchramay, o'zaro dinamik bog'langan holda qo'shaloq, uchradan, to'rttadan va nihoyat juda ko'p sonli - yuzlab, minglab to'da shaklida ham uchraydi. Yuzlab yulduzlardan bir necha minggacha xatto-ki milliongacha yulduzlarni o'z ichiga olib, o'zaro dinamik bog'langan ularning sistemalari- yulduz to'dalari deb yuritiladi. Tashqi ko'rinishiga ko'ra yulduz to'dalari ikki gruppaga - tarqoq va sharsimon to'dalarga bo'linadi. Tarqoq yulduz to'dalari bir necha o'n yulduzdan bir necha minggacha yulduzlarni o'z ichiga olgani holda, sharsimon to'dalar o'n mingdan to yuz minggacha xatto-ki milliongacha yulduzlarni o'z ichiga oladi.

Galaktikamizda ikki minggachaga yaqin tarqoq yulduz to'dalari bo'lib, ularning diametri 1,5 parsekdan 20 parsekkacha boradi. Tarqoq yulduz

to'dalarining yaxshi o'rganilgan tipik vakillari - Savr yulduz turkumidagi Hulkar deb nomlangan to'da bo'lib, Quyosh sistemasidan 130 parsekli masofada joylashgan. Boshqa bir tarqoq yulduz to'da - Giadlar esa bizdan 40 pk li masofada yotadi.

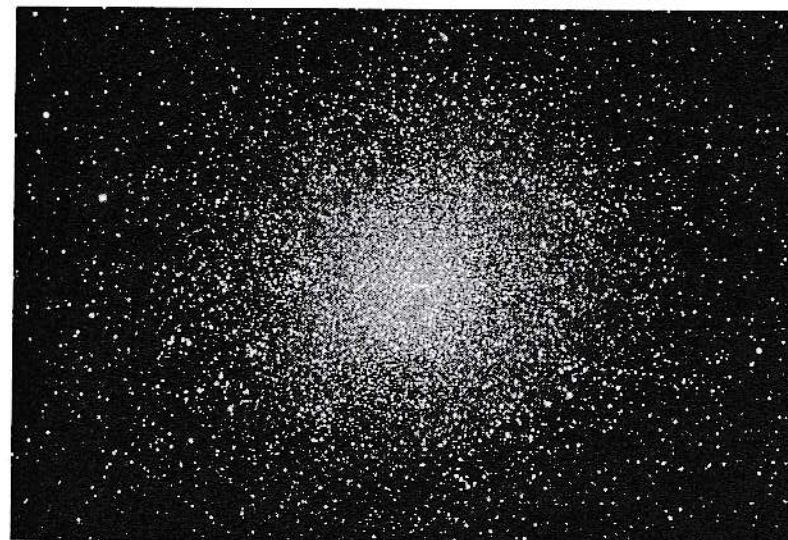
Tarqoq to'dalar Somon Yo'lining spiral shohobchalari bo'ylab joylashib, ba'zida ular "yulduz assosiasiyalari" markaziy qismida ko'rinadi. Shu sababli qator mualliflar yulduz assosiasiyalari bor oblastlar tarqoq to'dalar haqiqatda ham tug'ilish joylari deb hisoblaydilar. Kuzatuv ma'lumotlaridan shuni ham aytib o'tish kerak-ki, eng yosh bunday to'dalar molekulyar bulutlarlar bilan fizik bog'lanib, ular yulduzlarning tug'ilish o'choqlaridan joy olgandir. Ba'zan tarqoq to'dalar qo'shaloq, karrali va gruppalarni tashkil qiladi.



7.4 - rasm. Yulduz to'dalari

Sharsimon to'dalari yulduzlari tarqoq to'dalari yulduzlaridan kimyoviy tarkibi bilan farqlanadi. Xususan tarqoq yulduz to'dalarining spektrida og'ir elementlarning miqdori 1- 4 protsentni tashkil qilgani holda, sharsimon to'dalarda atigi 0,1-0,01 protsentni tashkil qiladi. Bunday hol ma'lum galaktikada sharsimon va tarqoq yulduz to'dalarining paydo bo'lishida turlicha sharoit mavjud bo'lganidan dalolat beradi. Shuningdek, bunday sharsimon to'dalar hali og'ir elementlarga boyib ulgurmagani sferik formadagi protogalaktik gaz tumanligidan paydo bo'lgan degan ilmiy gipotezaning tug'ilishiga olib kelgan.

Sharsimon to'dalar yulduzlarining ko'pligi va aniq sferik shakliga ko'ra, tarqoq yulduz to'dasiga nisbatan yulduzlar fonida yaqqol ajralib ko'rinadi. Sharsimon to'dalarning o'rtacha diametri 40 pk atrofida bo'ladi. Galaktikamizda 160 ga yaqin sharsimon to'dalar kuzatiladi. Ravshanliklari tufayli sharsimon to'dalarni qo'shni galaktikalarda (Magellan Bulutlari va Andromedada) ham ko'rish mumkin. Sharsimon to'dalar tarqoqlardan farq qilib, Galaktikamizning markaziga qarab, konsentratsiyasi keskin ortib boradi.



7.5 - rasm. M13 nomli sharsimon yulduz to'dasi.

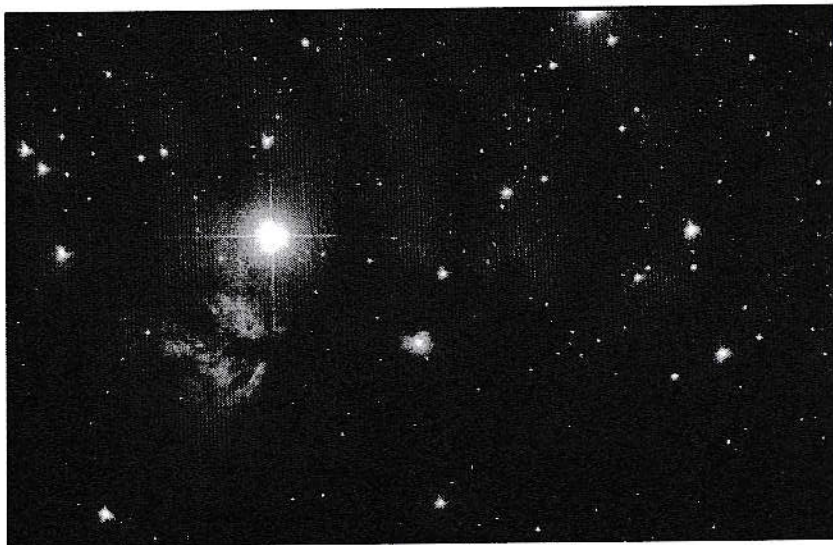
Sharsimon to'dalarning tipik vakili Gerkules yulduz turkumida joylashgan M13 bo'lib, u 20 mingdan ortiq yulduzni o'z ichiga oladi (7.5 - rasm). Uning bizdan uzoqligi - 24 ming yorug'lik yiliga teng. Ba'zi massiv sharsimon to'dalar markazida esa massasi kamida bir necha ming Quyosh massasiga teng bo'lgan "qora o'ra" mavjud degan hulosaga kelingan. Misol tariqasida Sentavrning omegasini ko'rsatish mumkin.

Shunday qilib, yulduzlarning tarqoq va sharsimon to'dalari o'zaro bir-birlaridan keskin farq qiluvchi obyektlar bo'lib, bu ikki turdagi tudalar nafaqat Galaktikamiz fazosining turli tashkil etuvchi qismlarida joylashganlar, balki Yoshi jihatidan farqi juda kata hamda ularning "Spektr - yorqinlik" diagrammalari ham tamomila ikki xil ekanligi bilan mashhurdir.

7.5-§. Galaktikaning aylanishi. Yulduzlararo chang va gaz. Spiral tarmoqlar

Galaktikamiz yadrosi tuzilishi. Galaktika toji va magnit maydoni. Yulduzlararo fazoda gaz va chang moddalari mavjudligi, qo'shaloq yulduzlarning spektrida kuzatilgan ayrim chiziqlarning "fe'l-atvori" dan ma'lum bo'ldi. Gap shundaki, bu chiziqlar, spektrdagi boshqa chiziqlar kabi davriy siljishlarda (mazkur yulduzlarning umumiy massa markazi atrofida aylanishi tufayli) ishtirok etmaydi. Bu xol, Quyosh bilan bu qo'shaloq yulduz orasida modda joylashib, Dopler prinsipiga buysinmaydigan, aynan shu spektral chiziqlarni vujudga keltirgan, xususan, gaz-chang bulutlari borligidan dalolat beradi.

1. Qora chang tumanliklar. Nurni kuchli yutishi tufayli yulduzlar fonida qoramtir tumanliklar mavjud bo'lib, ularning ko'rinma shakliga ko'ra (77-rasm), masalan, "Ot boshi" (Orion yulduz turkumida), "Ko'mir qopi" (Janubiy krest yulduz turkumida) deb ataladigan mashhur chang tumanliklari diqqatga sazovor.



7.6 – rasm. "Ot boshi" tumanligi.

"Ko'mir qopi" qoramtir gaz-chang tumanligi bizdan 150 pk masofada, o'lchami 8 pk ga yaqin Somon yo'lidagi tumanlik bo'lib, uning burchak o'lchami 3° ni tashkil etadi. Teleskop bilan kuzatilganda uning chegarasida

kuzatiladigan xira yulduzlarning soni tumanlikdan tashqarida shunday maydonda kuzatiladigan yulduzlar sonidan taxminan 3 martacha kam chiqadi. Bundan "Ko'mir qopi" uning orqasida joylashgan yulduzlarning nurlanishlarini yutishi, aniqrog'i ularning nurlanishlarini qariyb 3 marta kamaytiradi degan xulosa kelib chiqadi. Bunday yutishga mos muhitning optik qalinligi $\tau = \ln 3 = 1,1$ sababli bu yutilish, yulduzlarning ko'rinma kattaligi

$$\Delta m = 1,08\tau = 1,2^m$$

qiymatga o'zgarishiga olib keladi.

Galaktikada bunday tumanliklar ko'p bo'lib, xususan Oqqush yulduz turkumidan boshlanib, Burgut, Ilon, Qavs va Aqrab yulduz turkumlarigacha cho'zilgan chang tasmasi, Somon yo'lining bu qismida yulduzlarning bizdan "yashirib", unda qora ayrilikni vujudga keltirgan. Ayniqsa, Galaktika markaziga tomon yo'nalishda (Qavs yulduz turkumi tomonida) qora tumanlik juda quyuq bo'lib, biz uchun qiziq sanalgan Galaktikamizning markaziy quyulma qismini ko'rishni qiyinlashtiradi. Yulduzlararo fazoda nurni yutuvchi bunday moddaning borligi, yana bir hodisa-nurning yulduzlararo qizarishi bilan tasdiqlangan. Bu hodisani miqdor jihatidan xarakterlash uchun, yulduzning kuzatilgan rang ko'rsatgichi C_k bilan uning spektrgiga mos rang ko'rsatkichi S_k orasidagi farq bilan belgilanadigan rang orttirmasi SE («color's excess») degan tushuncha kiritiladi: $SE = C_k + S_k$, aniq bir rangdagi yutilish kattaligi, yulduz kattaligining o'zgarishi bilan quyidagicha ifodalanadi:

$$\Delta m = \gamma CE;$$

bu erda, γ -proporsionallik koeffitsenti, agar yutilish fotografik yulduz kattaliklarida ifodalansa 4 ga yaqin sonni, agar vizual yulduz kattaliklarida ifodalansa 3 ga yaqin sonni beradi.

Yulduzning haqiqiy yulduz kattaligi m , uning kuzatilgan yulduz kattaligi m_q orqali quyidagicha topiladi.

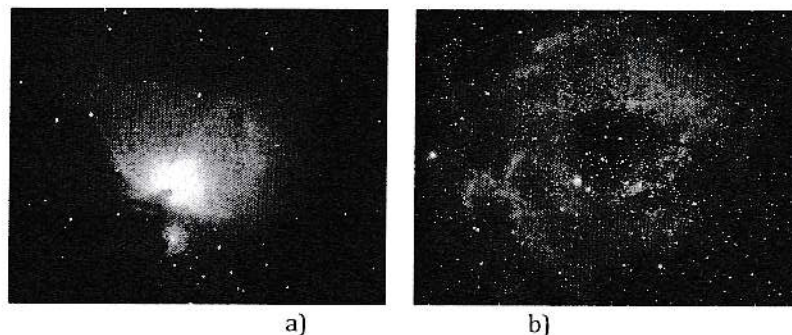
$$m = m_q - \Delta m = m_q - \gamma CE$$

Kuesh atrofida 1000 pk li masofada joylashgan yulduzlar uchun rang orttirmasi 0,5^m ga teng bo'lib, unga mos Δm :

$$\Delta m = 1,5^m,$$

boshqacha aytganda, bu yulduzlarni ko'rinma nurlanishlari taxminan 4 martacha susaytirilgan bo'lar ekan.

2. Gazsimon tumanliklar. Oysiz, tim qorong'u osmonda yulduzlararo gaz tumanligini hatto qurollanmagan ko'z bilan ham ko'rish mumkin. Masalan, eng mashhur bo'lgan gaz tumanlik - Orion yulduz turkumida joylashgan bo'lib, uning eni 6 pk gacha cho'zilgan (79-rasm). Shuningdek, Qavs yulduz turkumida Laguna, Omega va Uchtarmoqli, Oqqush yulduz turkumida Shimoliy Amerika va Pelikan, Yakkashox yulduz turkumida Rozetka kabi taniqli gaz tumanliklar mavjud. Bu xildagi ja'mi obektlarning soni 400 ga yaqin.



7.7 - rasm. Gazsimon tumanliklar ko'rinishi.

Bu tumanliklarning spektri vodorodning N_{α} va N_{β} , ikki marta qayta ionlashgan kislorodning OIII ta'qiqlangan chiziqlari (λ 5007 Å va λ 4950 Å), azot va boshqa elementlarning emission chiziqlaridan tashkil topib, tutash spektri - juda xira fonda ko'rinadi. Aksariyat hollarda tumanlikning ichida yoki uning yon atrofida qaynoq, spektri O yoki B0 sinfiga tegishli yulduz uchraydi. Bunday yulduz quvvatli ultrabinafsha nurlanishning manbai bo'lib, unig yaqinida joylashgan tumanlik gazining atomlari tomonidan yutilib, ularni ionlanishiga va nurlanishga majbur etadi. Bunda yulduzning quvvatli ultrabinafsha nurlanishining asosiy qismi gaz atomlarini ionlashtirishga sarf bo'lib, kam qismi, oqibatda issiqlikka aylanadigan elektronlar kinetik energiyasini orttirishga ketadi.

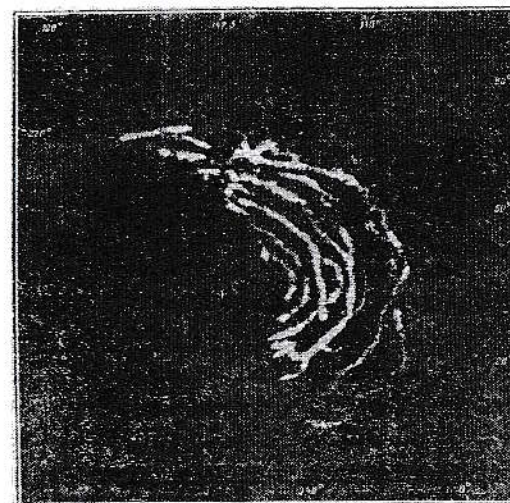
Ionlashgan gazda, erkin elektronlarning atom bilan bog'langan holatga o'tishi bilan kechadigan rekombinatsiya hodisasi kuzatilib, bunda atomlar, dastlab yutilgan qattiq ultrabinafsha nurlarining kvantlari o'rniga, ko'zga ko'rinadigan diapazonda, nisbatan kam energiyali bir necha kvantlarda nurlanadi, boshqacha aytganda, fluoressensiya hodisasi ro'y beradi.

Tumanlikda bu jarayon tufayli qaror topgan 10 K ga teng temperatura, bu tumanlikning issiqlik radionurlanishini hosil qiladi. Bunda elektronlarning o'rtacha tezligi 500 km/s ga etadi. Bunday hol gaz spektrida atomlarning ta'qiqlangan emissiya chiziqlarining kuzatilishiga sabab bo'ladi.

Neytral vodorodning Galaktika bo'ylab taqsimlanishi.

Vodorodning yulduzlararo fazodan joy olgan sovuq gazlari spektrida kuzatiladigan neytral chizig'i, bu sohalarining fizik xossalarini va tabiatlarini qismangina o'rganishga imkon beradi. Galaktikamizda neytral vodorodning taqsimlanishi to'g'risidagi to'la ma'lumotni vodorodning bevosita nurlanishini o'rganish asosida qo'lga kiritish mumkin. Bunga neytral vodorodning, radiodiapazonda, 21 sm to'liqindagi nurlanishlarini o'rganish orqali erishiladi.

21 sm to'liqin uzunligida nurlanayotgan vodorod atomining umumiy soni shu qadar ko'pki, natijada galaktika tekisligida yotgan, qalinligi 1kpk li muhit 21 sm li radionurlanishlar uchun butunlay tiniq bo'lmagan holatda bo'ladi. Shuning uchun ham Galaktika tekisligida yotgan neytral vodorod harakatsiz holda bo'lganda, uni 1kpk li masofadan, ya'ni Galaktika radiusining 6 foizli qismidan narida ko'rishning iloji yo'q. Biroq, bu xol, faqat Galaktika markazi va unga qarama-qarshi yotgan yo'nalishlar uchungina o'rinli bo'lib (chunki bu yo'nalishlarda harakatlar nuriy chiziqqa perpendikulyar bo'lib, uning radial tashkil etuvchisi nolga teng bo'ladi) qolgan barcha yo'nalishlarda, Galaktikaning aylanishi tufayli, turli ob'ektlarning nuriy tezliklarining farqi, masofa ortishi bilan ortib boradi. Shuning uchun ham Galaktikaning nuriy tezlikning ma'lum qiymati bilan xarakterlanadigan turli sohalar, o'rganilayotgan to'liqin uzunligining doplercha siljishi tufayli 21 sm li to'liqin uzunligidan sal uzunroq va sal qisqaroq "xususiy" to'liqin uzunligi bilan nurlanadi. har bir to'liqin uzunligiga mos radiospektr chizig'ining profili, Galaktikamiz differensial aylanish effektining kattaligiga mos masofada gaz zichligi haqida ma'lumot beradi. Aynan shu yo'l bilan aniqlangan neytral vodorodning Galaktikamizda taqsimlanishi 80- rasmida keltirilgan.



7.8 - rasm. Galaktikamizda vodorodning taqsimlanishi.

80-rasmdan ko'rinishicha neytral vodorodning Galaktikamizda taqsimlanishi bir tekis bo'lmay, ma'lum darajada uning spiral strukturasini o'zida aks qiladi. uzoq yulduzlardan kelayotgan nurlanishning qutblanishi haqidagi ma'lumotlar Galaktikamiz asosiy magnit maydonining kuch chiziqlari uning engllari bo'ylab yo'nalganidan darak beradi.

7.6-§. Spiral tarmoqlar

Kuzatuvlarga va nazariy tadqiqotlarga ko'ra, hech qachon elliptik galaktikalardan spiral S-galaktikalar vujudga kelmasligi aniqlangan. Quyida dastlab spiral galaktikalarga tegishli kuzatuv ma'lumotlari berilib, so'ngra ularning vujudga kelish nazariyalari bilan qisqa tanishtiriladi.

Spiral galaktikalar disksimon ob'ektlar xisoblanib, ularning faqat markaziy qismida ma'lum qavariqlik mavjud, lekin bosiqqligi $(a-b)/a > 0,8$. Ularda spiral tarmoqlarni kuzatish uchun eng yosh, qaynoq yulduzlarni, spektri O-B bo'lgan yulduzlarni, vodorodning ionlashgan HII zonalarini va neytral vodorod HI larni katta masshtabda aniqlab olish lozim. Qizig'i shundaki, ushbu har bir turdagi ob'ektlar bo'yicha alohida spiral tarmoqlar mavjud (83-rasm). Ular bir-birlari bilan ustma-ust tushmay, azimut burchagi bo'yicha ma'lum siljishga ega.

Spiral galaktikada neytral vodoroddan iborat tarmoqni topish uchun 21 sm to'lqin uzunlikdagi radio kuzatuvlar olib borish lozim. Xususan F.Kerr bizning Galaktikamizda shu yo'l bilan neytral vodoroddan iborat spiral tarmoqlarning aniq o'rnini topib, uning xaritasini tuzgan.

S galaktikalar markaz atrofida differensial tarzda aylanib, uzoq yillar davomida bu aylanish ikki xil deb kelingan:

- buralib aylanadigan spiral galaktikalar,
- ochilib aylanadigan S galaktikalar.

Zamonaviy ma'lumotlarga ko'ra, juda ko'p S galaktikalar tarmoqlari bilan buralib aylanishlari kuzatilib, kamdan-kam xolda ochilib aylanish bo'lishi mumkin. Ushbu masalani kuzatuvlar yordamida aniqlash uchun galaktika tekisligi bilan nur yo'nalishi orasidagi burchak i quyidagi tengsizlikni qanoatlantirishi lozim: $15^\circ < i < 70^\circ$. S galaktikalar ichida ulagichli turlari (81-rasm) normal turga nisbatan sezilarli ravishda ko'proqdir.



7.9 - rasm. Ulagichli spiral galaktikalar: NGC1530, NGC1365 va M83.

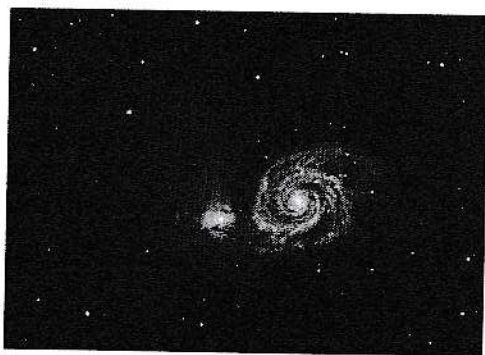
Spiral tarmoqning ko'ndalang kengligi uning tashkil etuvchi ob'ektlari turiga bog'liq: qari ob'ektlar tomon tarmoq kengligi qiymati doimo oshib boradi. Ob'ektlarning yoshi qanchalik qari bo'lsa, spiral tarmoqlar shunchalik ochiq va noaniq bo'ladi. Spiral tarmoqlar bo'ylab xam ayrim xollarda ularning yoshi uzluksiz o'zgarib borishi mumkin. Lekin, masalan, Svikki mashxur M51 galaktikasi (82 - rasm) tarmoqlari bo'ylab ular yoshi o'zgarmas ekanini aniqlagan, ya'ni yulduzlar tug'ilishi bir vaqtda tarmoq bo'ylab global tarzda ro'y bergan. Xuddi shunday hulosani u M101 va NGC 6946 spiral galaktikalar bo'yicha ham topgan. S galaktikalarni tekislik tashkil etuvchi qismining massasi nisbatan katta bo'lgani uchun bu erda potensial energiya mos ravishda kichik va shu tufayli ushbu qismiga ikki tomondan gaz-chang bulutlarning doimo oqimi mavjud. Bu oqimlar balki ma'lum darajada yangi tarmoqlarni vujudga kelishida manbaa sifatida muxim rol o'ynar.

Umumiy xolda matematik aniq spiral osongina quyidagi xollarda chizilishi mumkin:

$$r = a \cdot \theta - \text{Arximed spirali,}$$

$$r = a \cdot \exp(\alpha\theta) - \text{logarifmik spiral.}$$

Bu erda r va θ - qutb koordinatalari, $\alpha = \tan \mu$ bo'lsa, unda μ - tarmoqning buralish burchagini bildiradi.



7.10- rasm. Mashxur M51 galaktikasi o'z yo'ldoshi bilan.

Shuni ta'kidlab o'tish lozimki, yuqoridagi spiral galaktikalarining ulkan tojlari albatta mavjud bo'lib, ular berilgan rasmlarda sezilmay «ko'rinmas yashirin massani» tashkil qiladilar. Yashirin massa muammosi xususan tarkibi va tuzilishi bugun qator kosmologlar tomonidan faol o'rganilmoqda. Bizning xisob-kitoblarimizga ko'ra esa toj massasi spiral tarmoqlarni nisbatan barqaror ushlab turishda va turli gravitatsion beqarorliklarni S galaktikaning diskida so'nishi uchun yordam beradi.

Spiral tarmoqlarning vujudga kelishi. Spiral galaktikalar miqdor jixatidan galaktikalar olamida ko'pchilikni tashkil qiladilar. Gigant galaktikalarni spiralligi masalasi astronomlarni yarim asrdan beri mutassil qiziqtirib kelmoqda. Bu masala xayotga dadil nazariyalarni keltirib chiqarib, baxslashuvlar manbai bo'lmoqda. Ba'zida esa Koinotning fundamental fizik asoslarini rad qiluvchi keskin g'oyalar xam paydo bo'lmoqda.

Masalan, mashxur amerikalik astronom-kosmogonist J.Jins shunday gipotezalardan birini o'rta tashlagan edi. Unga ko'ra fazoning kutilmagan metrik va akslantiruvchi yangi xossalari bo'lishi mumkin. U galaktikamizning markazi «maxsus nuqtalar» xarakteriga ega bo'lib, unda materiya uzluksiz ravishda vujudga kelib tursa kerak, degan fikrga kelgan. Bunday g'oyalar spiral tarmoqlar qanday kelib chiqqanligi muammosini tushuntirish qiyinligi sababli paydo bo'lib, ularning xatoligi keyinchalik ko'rsatilgan. Oxirgi yarim asr davrida galaktikalarda ro'y beradigan jarayonlarni tushuntirish yo'lida katta qadam quyildi. Bu yutuq gidrodinamika, statistik fizika, plazma fizikasi kabi fanlarning rivojlanganligi natijasidir.

Keng tarqalgan fikrga ko'ra, yulduzlar katta massali gaz bulutining gravitatsion siqilish beqarorligi natijasi xisoblanib, ular gurux-gurux bo'lib vujudga keladi. V.A.Ambarsumyan gipotezasi bo'yicha esa, yulduzlar o'ta zich gravitatsion jismlarning parchalanishi tufayli kelib chiqqan. Ammo o'ta zich materiya fizikasi xali ishlab chiqilmaganligi sababli, bu gipoteza spirallik

muammosini xal etishda xozircha yordam bermaydi. Kuzatishlar gaz materiyasi ko'p bo'lgan galaktikalarda yulduzlarning tug'ilish jarayoni tezlashayotganini ko'rsatadi. 1961-63 yillarda spiral tarmoqlar galaktika yadrosidan otilib chiqqan massa deb taxmin qilishgan. Ammo spektral analiz yordamida tarmoqlardagi gaz bulutlarining va yulduzlarning tezligini o'lchash ular radial yo'nalishda emas, balki aylanma orbita bo'ylab xarakat qilishlarini isbotladi.

Moskva universiteti astrofizigi S.B.Pikelner birinchi bo'lib yulduzlararo gaz materiyasining muvozanatsiz xolatida magnit maydonning rolini tekshirgan. Ma'lumki, magnit maydon to'g'ridan-to'g'ri yulduz xarakatiga ta'sir ko'rsata olmaydi. U faqat yulduzlararo gazga ta'sir qiladi, gaz esa gravitatsion tortish natijasida yulduzlar xarakatini o'zgartirishi mumkin. Shu tariqa kuchli magnit maydon gaz materiyasini spiral tarmoqlarga yiqib, ushlab tura oladi. Xisob-kitoblarga ko'ra, spiral galaktikaning differensial aylanishiga qarshi turib, strukturani uzoq vaqt ushlab turish uchun juda katta kuchlanishli magnit maydon kerak. Xususan, bizning Galaktikamiz uchun kuzatuv yordamida o'lchangan umumiy magnit maydon kuchlanishi nisbatan ancha kichik ekani ma'lum bo'ldi. Lekin shunga qaramay magnit nazariya tarafdorlaridan Rossiya Fanlar akademiyasining Bosh astronomik observatoriyasi etakchi ilmiy xodimi professor V.A.Antonov bugun xam bu nazariya ustida ishlamoqda. Unga ko'ra, magnit kuch chiziqlari spiral tarmoqlarda zich joylashib, ular kuchli magnit dastalari tarzida yashab kelayotgan bo'lishlari mumkin.

Yana bir imkoniyatni o'z vaqtida P.Goldreyx va D.Linden-Bell ko'rsatishgan. Spiral tarmoqlar muammosi xal bo'lavermaganidan ular birinchi bo'lib bu tarmoqlar galaktikaning differensial aylanishi tufayli xaqiqatda ma'lum bir nisbatan qisqa davrda yo'qolib, o'rinlariga esa qaytadan yulduzlar tug'ilishi jarayoni yana spirallarni bera oladi degan fikrni nazariy ishlab chiqqanlar. Ammo bu nazariyada qatnashuvchi ba'zi parametrlar qiymati kuzatuvlar natijasida olingan qiymat bilan keskin farq qilgan. Demak, bu yo'l xam muammoni echa olmasligini ko'rsatadi.

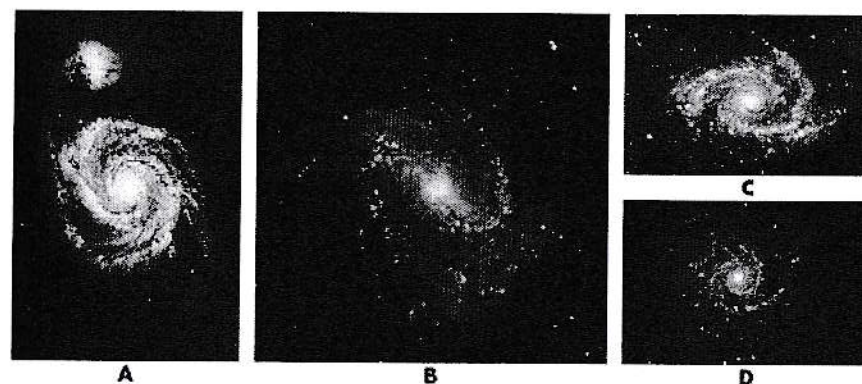
Spiral tarmoqlarning kelib chiqishi nafaqat yulduzlar tug'ilishi jarayoni bilan balki galaktikalar o'rtasidagi o'zaro gravitatsion ta'sir bilan xam yaqindan bog'liqdir (82-rasm). Gravitatsion ta'sir nazariyasining spiral galaktikalar muammosidagi o'rniga birinchi bo'lib Sankt-Peterburg universitetining taniqli olimi professor K.F. Ogorodnikov e'tibor bergan. Uning g'oyasi samarqandlik N. Toshpo'latov tomonidan amalga oshirilib, u qator chiroyli natijalarga erishgan. Bu nazariyaga ko'ra, bir necha ming, xatto million yulduzdan iborat $m_{E,r}$ massali sistema atrofida undan ma'lum masofalarda m massali jism aylanib o'tib ketganida, gravitatsion ta'sir tufayli $m_{E,r}$ massali sistemada asta spiral struktura vujudga keladi. 1969 yili amerikalik olimlar Tumrelar zarrachalar sonini ko'paytirib, nisbatan to'liqroq ma'lumot olishgan. Bunda chiqadigan natija massalar qiymatidan tashqari

ayrim «to'qnashuv» parametrlariga keskin bog'liq. 1973 yili esa Moskvalik taniqli olim professor R.A. Syunyaev boshchiligidagi ilmiy guruh ushbu masalani qayta ko'rib chiqishgan. Ular Sa, Sb, Sc, SBa, galaktikalar aynan qanday xollarda vujudga kelish mumkinligini o'rganib chiqishgan va qator yangi natijalar topishgan. Xozirgi kunda esa ikkita turli sinf galaktikalari ta'sirlanishi va o'zaro to'qnashuvi masalalari kompyuterda sonli tajriba usuli bilan faol o'rganilmoqda. Ularda zarrachalar soni 100 mingdan ortiq, xattoki bugun xar biri bir million bo'lgan sistemalarni olish mumkin.

VIII-bob. GALAKTIKADAN TASHQI ASTRONOMIYA

8.1-§. Galaktikalarining Xabbl klassifikatsiyasi

Birinchi bo'lib galaktikalarni sinflarga ajratish masalasini amerikalik astronom olim Edvin Xabbl 1925 yili hal etgan. U dactlab galaktikalarni quyidagi 3 ta sinfga ajratish mumkinligini taklif qilgan: elliptik E, spiral S va noto'g'ri Ir galaktikalar.



8.1 - rasm. Tipik spiral galaktikalar [5]: NGC 5194 (A), NGC 5236 (B), NGC 2997 (C) va NGC 628 (D).

E galaktikalarining eng ajoyib xususiyati shunda-ki, ularda ravshanlik galaktika markazidan tashqariga qarab faqat masofa koordinatasi bo'yicha juda uzluksiz kamayib borib, yaqqol biror ichki tuzilmaga ega emas. Sirtqqi ravshanlikni masofaga bog'liqligi oddiy empirik munosabat bilan ifodalanishini birinchi bo'lib Xabbl topgan:

$$B(r) = \frac{B_0}{(r+a)^2}, \quad (8.1)$$

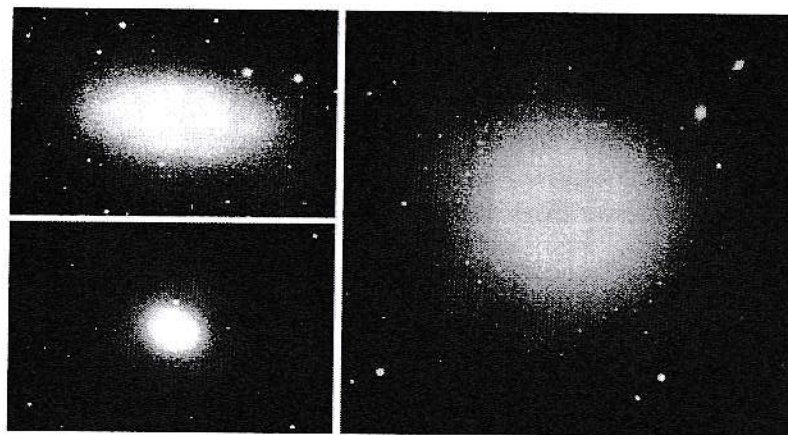
bu erda V_0 va a – konstantalar bo'lib, har bir galaktika uchun qiymatlari kuzatuvdan topiladi. Keyinchalik bu munosabat Vokuler tomonidan batafsilroq o'rganilib, ravshanlik taqsimoti $r^{0.25}$ qonuni bo'yicha juda yaxshi aniqlikda ifoda qilinishini ko'rsatib bergan.

Agar ravshanlikning bir xil yonma-yon turgan qiymatlarini fazoda birlashtirib chiqsak, unda biz yagona markaz atrofida qator konsentrik (biri

birini ichiga olgan) deyarli ellipslar ko'rinishidagi ta'svir hosil qilinishini guvohi bo'lamiz. Har qanday elliptik galaktika o'z bosiqqligi

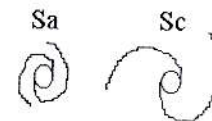
$$n = \left[10 \frac{a-b}{a} \right]$$

qiymati bilan ma'lum E_n sinfchalarini tashkil qiladi. Bunda a va b galaktikaning katta va kichik yarim o'qlari, kvadrat qovus esa kuzatuv asosida hisoblangan qiymatning faqat butun qismi n ga teng deb olinishi lozimligini bildiradi. Kuzatuvlar esa n qiymati 0 dan to maksimum 7 gacha bo'lishi mumkinligini ko'rsatgan (84-rasm). Bu masalaning fizik sabablari haqida quyida albatta to'xtalib o'tamiz.



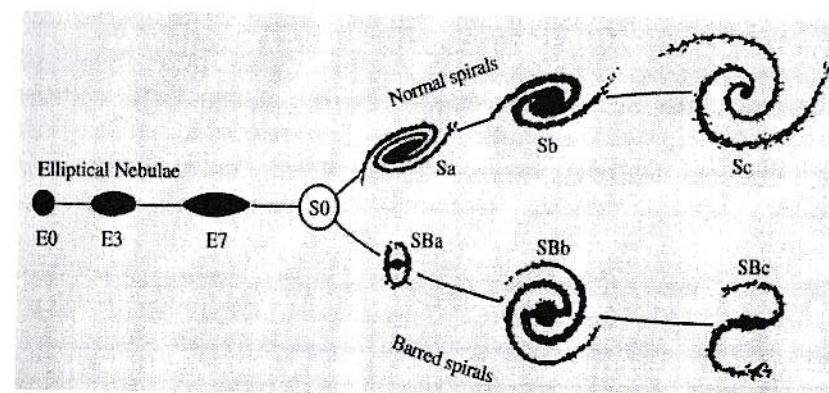
8.2 -rasm. Taniqli elliptik galaktikalar [5]: NGC 205, M49 va M87.

Spiral galaktikalar disksimon ko'rinishga ega bo'lib, yadrolari sferoid yoki uzun ulagich (inglizcha «Bar») ekaniga qarab ikki yirik turga ajratiladi: normal S va ulagichli SB. Lekin bu ikki turni o'zi spirallar qay darajada ochiq yoki yadroga tarang o'ralgan ekaniga qarab yana qo'shimcha alohida 3 sinfga bo'linadilar: a, b, c. Bunda a sinfi - galaktika xajmining nisbatan ancha qismini egallagan yadrosi atrofida tarangroq o'ralgan, b - yadrosi va spirallar o'ralganligi o'rta meyorda va c sinfi - xajmi nisbatan kichik yadro atrofida ochiq o'ralgan spiral strukturalardan iboratligini (83va 84- rasm) bildiradi.



8.3-rasm. Normal spiral galaktikalarining shartli ko'rinishi.

Noto'g'ri galaktikalar na elliptik na spiral strukturaga yaqin. Ularda hech bir simmetriya xususiyati yo'q. Lekin ob'ektlari nisbatan ravshan bo'lib, ular uncha massiv emas. Bu sinfni Xabbl I_r deb belgilagan (85-rasm). Keyinchalik bu galaktikalarni ular ob'ektlari yoshroq yoki nisbatan qariroq ekaniga qarab ikkita tipga bo'lish mumkinligi aniqlandi. Natijada Xabbl kuzatuv ma'lumotlari asosida galaktikalarining quyidagi sinflar ketma-ketligini tuzdi (86-rasm):



$$E_0 - E_1 - E_2 - \dots - E_7 - S_0 - \left(\begin{array}{l} Sa - Sb - Sc \\ SBa - SBb - SBc \end{array} \right) I_r$$

8.4-rasm. Xabbl ketma-ketligi (yoki kamertoni).

1936 yili Xabbl va Shepli markazida yadrosi biroz sezilarli, lekin disksimon qismi albatta mavjud bo'lib, bosiqqligi nisbatan kattaroq elliptik galaktikalarga o'xshashlarini topishgan va ularni alohida S0 sinfi bilan ifodalab, yuqoridagi ketma-ketlikga E7 dan so'ng kiritishgan. Adabiyotda ushbu galaktikalar linzasimon deb ataladi. Bu turdagi galaktikalarda gaz va changlar ma'lum miqdorda bor, lekin spirallar diskda umuman kuzatilmaydi. Bu klassifikatsiyani Xabbl kamertoni ham deb yuritiladi.

Xabbl linzasimon galaktikalarni quyidagi uch sinfga ajratgan:

SO_1 - disk qismi va uni o'rab turgan qobiq aniq strukturaga ega bo'lmay, ular amorfsimon (masalan, NGC 3065, 4684, 1332),

SO_2 - qobiq'i yaqqol ajralgan va ma'lum tuzilishga (xalqaga) ega, disk esa amorfdir (NGC 4459, 4111, 4215).

SO_3 - disk qismi juda yorug' va xalqasimon strukturaga ega (yon tomoni bilan ko'rinadigan SO galaktikalarda seziladi).

1940 yillari 8.4-rasmdagi Xabbl ketma-ketligiga amerikalik olim J.Jins fizik ma'no berish mumkin deb hisoblab, evolyusiya sferik $E0$ xolatdan elliptik va spiral galaktikalar bosqichlaridan o'tib, noto'g'ri galaktikalargacha davom etadi degan fikrni ilgari surgan. Unga ko'ra, boshida galaktikaning siqilishi tufayli elliptik galaktikalar, uning aylanishi oshib borishi tufayli esa boshqa galaktikalar yuzaga keladi. So'ngra uning asta diski paydo bo'lib, unda spirallar tug'ilishi ro'y beradi deb o'ylagan. Galaktikaning differensial aylanishi tufayli esa spirallar aralashib ketib noto'g'ri galaktikalar vujudga kelishini hisoblab chiqqan. Djins nazariyasiga ko'ra elliptik galaktikalar yosh, noto'g'ri galaktikalar esa qari bo'lishi kerak. Lekin kuzatuvlar noto'g'ri galaktikalar yosh, elliptik galaktikalar ancha qari ekanini ko'rsatadi. Turli galaktikalar ichida eng ko'p foizni, 9-jadvalga ko'ra, umuman olganda

8.1 - jadval

Tip	E	SO	S	Ir I	Ir II	Pekulyar	Jami
Soni	199	329	934	39	13	14	1530
% i	13	21.5	61.1	2.55	0.85	0.9	100

spiral galaktikalar tashkil etadi. O'rta hisobda esa foiz jihatidan munosabat quyidagichadir:

$$E : SO : S : Ir : q : 13 : 22 : 61 : 3. \quad (8.2)$$

8.2-§. Galaktikalarning maxalliy guruhi

Bizning Galaktikamiz yakka holdagi avtonom ob'ekt bo'lmay, balki u galaktikalarning mahalliy guruhiga kirishi birinchi bo'lib E.Xabbl tomonidan aytib ketilgan edi. Darhaqiqat, ushbu bashorat oxirgi o'n yilliklar ichida to'la tasdiqlanib, bugun 35 ga yaqin maxalliy galaktikalar fizik va dinamik bog'langan gravitatsion sistemani tashkil qilishi aniqlangan. Galaktikalarning mahalliy guruhining o'lchami kamida 2 Mpk = 2000 kpk (Galaktikamiz o'lchami optik to'lqinlarda 30 kpk). Ushbu mahalliy guruh (MG) tuzilishi bo'yicha shartli ravishda 2 ta kichik guruhning yig'indisidan iborat deyish mumkin: 1) Galaktikamiz atrofida tahminan 10 dan ortiq galaktikalardan iborat guruhcha; 2) taxminan 20 ta galaktikadan tashkil topgan Andromeda tumanligi (M31) guruhchasi. Ikkinchi guruhcha birinчисiga nisbatan o'lchami va massasi bo'yicha kamida 1,5 marta katta. Buning sababi avvalambor M31 ning o'zi shuncha marotaba bizning Galaktikamizdan katta ekani va nihoyat eng yirik yo'ldoshi M33 spiral galaktika ekanligi bilan bog'liq. 9-jadvalda MGning bugungi kunda ma'lum bo'lgan a'zolari ularning eng zarur xarakteristikalarini asosan Sidney van den Bergning 1999 yildagi ma'lumotlariga ko'ra berilgan [6]. MGning barcha a'zolari massalarini alohida aniqlash haddan tashqari qiyin masala, lekin o'zining optik diapazondagi to'la massasi hisob-kitoblarga ko'ra $(2,3 \pm 0,6) \times 10^{12} M_{\odot}$ teng bo'lib, bunda ko'rinmas massa umuman hisobga olinmagan. MGning inersiya markazi Andromeda tumanligi va Galaktikamiz orasida joylashgan bo'lib bizdan taxminan 460 kpk masofada joylashgan va u M31 ga ancha yaqin (≈ 300 kpk). Ikkita oilaning tashqarisidagi asosiy massani ayrim mitti noto'g'ri galaktikalar tashkil qiladi. Ushbu MGning to'la yorqinligi -22^m absolyut yulduziy kattalik bilan xarakterlanib massaning bu yorqinlikka nisbati taxminan 44 ± 12 ga teng. Uning tashqi chegarasiga yaqin joylarida optik diapazonda ko'rinmaydigan ayrim noyob galaktikalar bor. Masalan, Baade ob'ekti kuzatilib, uning o'lchami atigi 5 kpk, massasi esa $4 \times 10^8 M_{\odot}$ dir.

Quyosh sistemasi MGga nisbatan 306 ± 18 km/sek tezlikka ega bo'lib, bu xarakat galaktik koordinatalari $l = 99^{\circ}$, $b = -4^{\circ}$ nuqta tomonga yo'nalgan MGning ichki qismida ob'ektlarining tezlik dispersiyasi 61 ± 8 km/sek. Bugungi kunda uning faqat 8 ta galaktikasi uchun nuriy tezlik qiymatlari noma'lum. 9-jadvalning oxirgi ustunida har bir galaktikaning inersiya markazidan uzoqligi qiymatlari berilgan. Bu bo'yicha osongina MG xaritasini tuzish mumkin. Nuriy tezlik, masofa r va astronomik koordinatalari yordamida MGda ayrim qo'shaloq va karrali galaktikalarni aniqlash mumkin. Ko'rinib turibdiki M31, M32, NGC 205 va And III galaktikalar uchun yuqoridagi parametrlar deyarli bir xil.

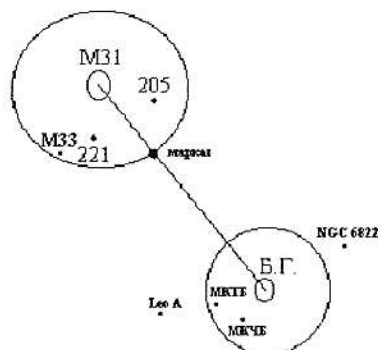
Bugungi kunda qator kuzatuvchi astrofiziklar MG tuzilishi va fizik xarakteristikalarini bo'yicha faol tadqiqot olib borishmoqda. MG a'zolari yildan-yilga asta oshib boryapdi. O'rta hisobda bir yilda 1-2 yangi galaktika (asosan

mitti) a'zo ekanligi ko'rsatib kelinmoqda. Shunga qaramay, mavjud a'zolar statistikasi etarlicha o'rganilgan.

Xususan, MG uchun yorqinlik taqsimoti quyidagi funksiya orqali approksimatsiya qilingan [6]:

$$\phi(L) = \phi^* \exp(-L/L^*) \cdot (L/L^*)^\alpha \quad (8.3)$$

Bu erda L^* - xarakteristik yorqinlik, $\alpha = -1,1 \pm 0,1$. MG galaktikolari uchun absolyut yulduziy kattalik bilan galaktikalar metalliyligi $[Fe/H]$ orasidagi empirik munosabat



8.5-rasm. Mahalliy galaktikalar guruhining qo'shaloq o'zagi tuzilishi.

8.2-jadval

Nomi	A	δ	Turi	M_v	V_r km/c	r Mpk	R_c Mpk
WLM	00 ^h 01 ^m 57.8	- 1527'51	Ir	-14.4	-120	0.93	0.79
IC 10	00 20 24.5	5917 30	Ir	-16.3	-344	0.66	0.27
NGC 147	00 33 11.6	4830 28	dE4	-15.1	-193	0.66	0.22
And III	00 35 17.0	3630 30	dE5	-10.2	?	0.76	0.31
NGC 185	00 38 58.0	4820 18	dE0	-15.6	-202	0.66	0.22
NGC 205	00 40 22.5	411 11	E6	-16.4	-244	0.76	0.31
NGC 221	00 42 41.9	4015 55	E2	-16.5	-205	0.76	0.31
NGC 224	00 42 44.2	4116 09	Sb	-21.2	-301	0.76	0.30
And I	00 45 43	3800 24	dE3	-11.8	?	0.81	0.36
MKCHB	00 52 36	-7248 00	Ir	-17.1	148	0.06	0.48
Haykal Tarosh	01 00 04.3	-3342 51	dE3	-9.8	110	0.09	0.44
Hut	01 03 56.5	2153 41	dIr	-10.4	-286	0.81	0.42
IC 1613	01 04 47.3	0208 14	dIr	-15.3	-232	0.72	0.47
And V	01 10 17.1	4737 41	dE	-10.2	?	0.81	0.37
And II	01 16 27	3325 42	dE	-11.8	?	0.70	0.26
NGC 598	01 33 50.9	3029 37	Sc	-18.9	-181	0.79	0.37
Feniks	01 51 03.3	-4427 11	dIr	-9.8	?	0.40	0.59
Qo'ra	02 39 53.1	-3430 16	dE3	-13.1	53	0.14	0.45
MKTB	05 19 36	-6927 06	Ir	-18.5	275	0.05	0.48
Kil	06 41 36.7	-5057 58	dE4	-9.4	223	0.10	0.51
Leo A	09 59 23.0	3044 44	Ir	-11.5	24	0.69	0.88
Leo I	10 08 26.7	1218 29	dE3	-11.9	287	0.25	0.61
Sekstant	10 13 02.9	-0136 52	dE	-9.5	226	0.09	0.51
Leo II	11 13 27.4	2209 40	dE0	-10.1	76	0.21	0.57
Kich. Ayiq	15 08 48.2	6706 38	dE5	-8.9	-247	0.06	0.43
Ajdard	17 20 18.6	5755 06	dE3	-8.6	-293	0.08	0.43
Somon Yo'li	17 45 39.9	-2900 28	SBbc	-20.9	16	0.01	0.46
Qavs	18 55 04.3	-3028 42	dE	-13.8	142	0.03	0.46
SagDIG	19 29 58.9	-1740 41	Ir	-10.7	-79	1.40	1.48
NGC 6822	19 44 56.0	-1448 06	dIr	-16.0	-56	0.50	0.67
Dalv	20 46 53	-1250 58	Ir	-11.3	-131	1.02	1.02
Tukan	22 41 48.9	-6425 21	dE	-9.6	?	0.87	1.10
And VII	23 26 31	5041 31	dE	-9.5	?	0.69	0.29
Pegas	23 28 34	1444 48	Ir	-12.3	-182	0.76	0.44
And VI	23 51 39.0	2435 42	dE	-10.6	?	0.83	0.43

esa quyidagicha:

$$M_v = 20 - 5[Fe/H]. \quad (8.4)$$

Yuqoridagi jadval asosida galaktikalarning MG inersiya markazidan uzoqligi bo'yicha gistogramma ham tuzish mumkin. Unga ko'ra, MGda eng zich soxa $300 \text{ kpk} < r_c < 600 \text{ kpk}$.

Shuni ta'kidlab o'tish lozimki, MGga o'xshash guruhlar Koinotda etarlicha ko'pdir. Uning qo'shni guruhi Antlia-Sextans hisoblanib, u uchun masofa $r_c = 1700 \text{ kpk}$. Tadqiqotlarga ko'ra, bu guruhlar nisbatan beqaror bo'lib, keyinchalik asta a'zolari tarqalib massasi uzluksiz kamayib borishi aniqlangan.

Quyida MGning asosiy a'zosi hisoblangan Andromeda tumanligiga oid zarur fizik ma'lumotlar keltirilgan.

8.3-§. Galaktikalargacha masofalarni aniqlash usullari

Galaktikalargacha masofalarni hisoblash, Galaktikadan tashqari astronomiya uchun muhim ahamiyat kasb etadi. Tashqi galaktikalarning massasi, yoritilganligi, o'lchamlari va boshqa parametrlarining aniqlik darajasi, ungacha bo'lgan masofaning qay darajada aniqlanishiga bog'liq. Galaktikalargacha masofalarni o'lchashning bir necha usullari mavjud. Ularning ayrimlari bilan tanishamiz:

Koinotning katta masshtabidagi tuzilishini (xususan, o'tagalaktikalar va galaktikalarning to'dalari a'zolarini, massalarini, tuzilishini taxlil qilish, Metagalaktikaning to'rsimon strukturasini topishda va qator boshqa masalalarni) o'rganish uchun galaktikalargacha bo'lgan masofalarni iloji boricha aniqlash zarur. Bu masofa ko'p hollarda

$$M = m + 5 \lg r - A(r) \quad (8.5)$$

formuladan topiladi. Bu erda M – absolyut yulduziy kattalik, m – ko'rinma yulduziy kattalik, $A(r)$ – yutilish funksiyasi bo'lib, u ko'pincha empirik metod bilan topiladi. Ushbu masofani topishda qo'llaniladigan usullar kuzatuv ob'ektlariga qarab, turlicha bo'ladi. Bu ob'ektlar adabietda masofalar indikatorlari deyiladi. Ushbu indikatorlar sifatida ko'pincha sefeidalar, yangi yulduzlar, o'ta yangi yulduzlar, vodorodning $H II$ zonalarini ishlatilishi mumkin.

1. Sefeidlar metodi. Bu metodga ko'ratashqi galaktikada kuzatilgan ravshan sefeidning davri kuzatish orqali topilib, so'ngra "yorqinlik-davri" bog'lanishidan uning yorqinligi aniqlanadi. Keyin "Spektr-yorqinlik"

diagrammasi asosida, sefeidning absolyut yulduz kattaligi M topiladi. Va, nihoyat, Galaktikagacha masofani topishga bevosita imkon beradigan, masofaning moduli $(m-M)$ aniqlanadi. Bu erda m – tashqi galaktikada kuzatilayotgan sefeidning ko'rinma yulduz kattaligini ifodalaydi.

2. Yangi yulduzlar metodi. Ma'lumki yangi yulduzlar chaqnaganda, maksimumida ularning absolyut yulduz kattaligi $-8,5$ gacha boradi. Sefeidlarni tadqiq etish shuni ko'rsatadiki, maksimumidan keyin ularning ravshanligi qanchalik keskin pasaysa, maksimumida yorqinligi shunchalik yuqori bo'ladi. Agar maksimumidan keyin ravshanligi 3 ga pasayishi uchun ketgan vaqt t bo'lsa, u holda $t < 12$ sutka bo'lganda, uning maksimumidagi absolyut yulduz kattaligi $M = -9$ bo'ladi. t ortishi bilan, mos ravishda, M kamayadi. SHunga ko'ra, sefeidning maksimumida uning ko'rinma yulduz kattaligi m va t ni aniqlab, masofaning moduli $(m-M)$, binobarin galaktikagacha bo'lgan masofani aniqlash mumkin bo'ladi. SHuningdek, nisbatan yaqin joylashgan galaktikalargacha masofalarni, ularning burchak o'lchamlariga ko'ra ham aniqlash mumkin. Juda uzoqdagi galaktikalarning masofasi, ularning spektrlaridagi chiziqlarning doplercha siljishiga asoslanib, Xabbl ochgan (1929 y) qonun asosida topiladi.

3. O'tayangi yulduzlar metodi. Bu ham oldingi usulga juda o'xshash. O'tayangi yulduz portlashida uning maksimumga erishgan ravshanligi kuzatuvdan ma'lum. Nisbatan tez o'z holiga qaytib keluvchi o'tayangilar uchun o'rta hisobda $M = -18,9^m$, sekin o'z holiga keluvchilari uchun $M = -17,5^m$. Qolgan hisob-kitob xuddi yuqoridek olib boriladi. Bu usul 1 Mpk masofagacha o'rinli.

4. Ob'ektlarni o'xshatish metodi. Galaktikamizdagi va o'rganilaetgan boshqa galaktikalardagi ayrim ob'ektlarning absolyut yulduz kattaliklari deyarli bir xil deb olish mumkin. Masalan, yulduzlarning sharsimon to'dalari uchun absolyut yulduziy kattalikning o'rtacha qiymati (ayniqsa spiral galaktikalarda) xuddi bizning Galaktikamizdagi shunday to'dalar uchun ma'lum qiymat bilan o'xshash deb qarash mumkin. Bunday mezon eng ravshan yulduzlar uchun ham qo'llanishi o'rinli.

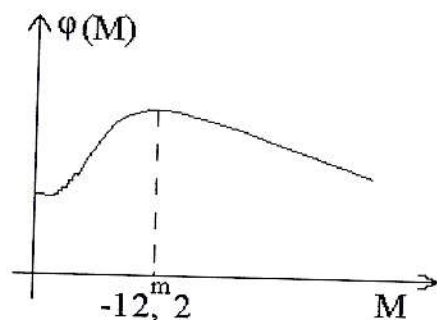
5. Xalqasimon struktura metodi. Bu usul Vokuler tomonidan taklif qilinib, spiral galaktikalarda mavjud halqasimon strukturalar o'lchamlari o'rta hisobda o'zaro yaqinligiga asoslangan. Spiral galaktika turiga qaramay bu o'lchamni $2,5 \pm 0,4 \text{ kpk}$ deb olinadi. Agar xalqaning chiziqli diametri ma'lum bo'lsa, unda uning burchakli diametrini qiymatini kuzatuvdan olib, ushbu strukturagacha masofa osongina topiladi. Bu metodning afzalliklari shundaki, birinchidan nurlarni fazoda yutilishining umuman aloqasi yo'q va ikkinchisi yuqoridagi usullar qo'llab bo'lmaydigan juda uzoq masofadagi galaktikalarga ishlatiladi.

6. Nuriy tezliklar metodi. Koinotdagi bizdan eng uzoq masofada yotgan galaktikalar uchun Xabblning qizilga siljish qonunini qo'llash mumkin. Bunda

$$v = H \cdot r, \quad (8.6)$$

bo'lib, v – galaktikalar yoki ular to'dasining bizdan uzoqlashish tezligi, H – Xabbl doimiyligi, r – galaktikagacha masofa. Bu usul kamida 10 Mpk masofadan boshlabgina qo'llanishi mumkin, ya'ni galaktika qanchalik uzoqda bo'lsa natija shunchalik aniqroq chiqadi. Gap shundaki, (8.6) formula o'rta hisobda bajarilib, galaktikalarining qoldiq tezliklari (400-500 km/sek) hisobga olinishi qiyin.

Galaktikalar to'dalari yoki sistemalariga ham yulduzlarga qo'llaniladigan statistik funksiyalarni ishlatish mumkin: yorqinlik funksiyasi $\varphi(M)$, ravshanlik funksiyasi $A(m)$ va massalar funksiyasi $F(m)$ kabilarni kiritib, zarur statistik qonuniyatlar asosida ko'rinma va haqiqiy masofalarni hamda galaktikalarining katta masshtabdagi taqsimotini topish mumkin. Masalan, bizga eng yaqin fazoda galaktikalar uchun $\varphi(M)$ assimetrik ko'rinishga ega (91-rasm). Uning maksimumi $M = -12,2$ ga to'g'ri keladi.



8.6-rasm. Bizga yaqin fazodagi galaktikalar sistemasi uchun yorqinlik funksiyasi.

Yorqinlik bo'yicha esa adabietda quyidagi empirik bog'lanish mavjud:

$$\lg \varphi(L) = \text{const} - \frac{3}{2} \lg L \quad (8.7)$$

8.4-§. Galaktikalar to'dalari

Galaktikamizdan tashqi astromomiya shakllanishi, XX asrning 20-yillarida, yulduz turkumlarida proeksiyalangan ayrim tumanliklarni, Galaktikamizdan (boshqacha aytganda Quyoshni o'z ichiga olgan yulduzlar sistemasidan) tashqarida etuvchi, biznikiga o'xshash tashqi galaktikalar ekanligi aniqlanishi bilan boshlandi.

Ulkan galaktikalardan biri – Andromeda yulduz turkumida proeksiyalanib ko'rinadi va shu yulduz turkumining nomi bilan Andromeda galaktikasi (ba'zan Andromeda tumanligi) deb yuritiladi. Andromeda tumanligi bizdan 2 million yorug'lik yiliga teng masofada etadi. Havo tiniq bo'lgan tog'lik rayonlarda tunda uni oddiy ko'z bilan ko'rsa ham bo'ladi. U Andromeda yulduz turkumida yorug' tuman dog' shaklida ko'rinadi.

Spiral galaktikalar koinotda keng tarqalgan bo'lib, bizga qo'shni boshqa shunday galaktika M-51 nomi bilan mashhur. Ungacha masofa 1,8 million yorug'lik yilini tashkil qiladi. Osmonning Janubiy yarim sharida joylashgan noto'g'ri formadagi bizga qo'shni galaktikalar Katta va Kichik Magellan bulutlari deb nom olgan.

Tashqi Galaktikalar o'z o'lchamlariga ko'ra, turlicha kattaliklarda uchrab eng yiriklari milliardlab, mittilari esa bir necha millionlab yulduzni o'z ichiga oladi. Gigant galaktikalarining o'lchamlari 50 ming parsekkacha (ya'ni diametri 150 ming yorug'lik yiligacha) borgani holda, eng kichiklari bir necha 100 parsekdan ortmaydi.

Hozirgi zamonning quvvatli teleskoplari yordamida rasmga tushirilgan galaktikalarining soni bir necha milliardni tashkil etadi. Biroq ulardan bir qismigina kataloglardan joy olib, strukturalari o'rganilgan va statistik tahlil etilgan holos. Galaktikalar haqidagi ma'lumotlarni o'z ichiga olgan kataloglardan biri B.A.Voronsov-Velyaminov rahbarligida tuzilgan 4 tomlik "Galaktikalarining morfologik katalogi" bo'lib, u yulduz kattaligi 10,1 dan ravshan 30000 ga yaqin galaktikani o'z ichiga oladi. Galaktikalar tashqi ko'rinishiga ko'ra, turli-tuman bo'lsada, ko'pchiligi, ba'zi o'xshash tomonlarini inobatga olib, bir necha tipga ajratish mumkin.

Galaktikadan tashqi tumanliklarning spektri, yulduzlarning spektrini eslatib, yutilish chiziqlaridan tashkil topadi. Ular tarkibiga ko'ra A, F va G sinflariga kiruvchi yulduzlarning spektridan, faqat ayrim gaz-tumanliklarining spektrlarida uchraydigan emission chiziqlari bilan farq qiladi. Bundan kuzatilayotgan tumanliklar, yulduzlar sistemasi va diffuz materiyadan tashkil topganligi ayon bo'ladi.

Noto'g'ri galaktikalarining spektri, A va F spektral sinflarga, spiral galaktikalariniki F va G sinflarga va, nihoyat, elliptik galaktikalarni G va K sinflarga kiruvchi yulduzlarning spektrini eslatadi. Bu, spiral va noto'g'ri galaktikalarda, boshlang'ich spektral sinflarga kiruvchi qaynoq va yosh yulduzlarning ko'pligidan, elliptik galaktikalar esa, nisbatan yoshi o'tgan keyingi spektral sinflarga mansub yulduzlarga boyligidan darak beradi.

Galaktikaning rangiga qarab ham, unda ko'pchilikni tashkil etgan yulduzlarning spektral sinflari haqida xulosa qilish mumkin. Galaktikalar yoki ularning qismlarining rang ko'rsatkichlari ham, yulduzlarning rang ko'rsatkichlarini aniqlash metodi asosida topiladi.

Galaktikalarining fazoda taqsimlanishini o'rganishda, yulduzlarning taqsimlanishini o'rganishdagi kabi, osmonning ma'lum uchastkasidagi ob'ektlar sonini ifodalaydigan, ravshanlikning integral funksiyasi N_m , osmonning ma'lum uchastkasida (ko'pincha 1 kvadrat gradusda) yulduz kattaligi m va undan kichik kattalikdagi Galaktikalarining sonini xarakterlaydi.

Agar galaktikalar fazoda bir tekis taqsimlanadi deb qaralsa, yulduzlar statistikasida aniqlanganidek, Zeeliger teoremasi o'rinli bo'lib:

$$\frac{N_{m+1}}{N_m} \approx 4$$

Bu muammo, birinchi marta, 2,5 metrlik reflaktorda 1283 uchastkada 20^m gacha ob'ektlar tushirilgan fotorasmlarni tahlil qilish orqali E.Xabbl tomonidan 1934 yilda bajarildi. Xabbl shu yo'l bilan 1 kvadrat gradusli maydonga 20^m gacha ravshanlikdagi 131 galaktika to'g'ri kelishini aniqladi. Butun sferaga to'g'ri keladigan galaktikalar soni esa $5,4 \cdot 10^6$ ga teng chiqdi. Dunyodagi eng yirik teleskop yordamida 24 yulduz kattaligigacha ob'ektlarni (jumladan galaktikalarni ham) ko'rish mumkinligiga e'tibor qilinsa, unda butun sferada 1,4 milliard galaktikani kuzatish mumkin bo'ladi.

Xabbl, shuningek, barcha yo'nalishlar uchun Zeeliger teoremasi o'rinli ekanligini isbotlab, galaktikalarining fazoda taqsimlanishi birjinsligina bo'lmay, balki izotrop, ya'ni barcha yo'nalishlarda bir xil ekanligini ham aniqladi.

Bu masalani sinchiklab o'rganish, 40 kpk dan kichik masofada galaktikalar alohida guruh va to'daga birlashishlarini ko'rsatadi. Bizning Galaktikamiz, Andromeda (M31), Uchburchak yulduz turkumidagi galaktika (M33), Katta va Kichik Magellan bulutlari va boshqa yana bir qancha yulduz sistemalari birgalikda (jami 35 taga yaqin galaktika) Mahalliy galaktik to'dani hosil qilishi ma'lum bo'ladi.

Ayni paytda shu xildagi 4000 ga yaqin galaktikalarining to'dasi ma'lum. Bunday to'dalarning o'rtacha diametri 8 Mpk atrofida. Yirik galaktik to'dalardan biri Veronika Sochlari yulduz turkumida proeksiyalanib salkam 40 000 ga yaqin galaktikani o'z ichiga oladi.

U bizdan 70 Mpk masofada joylashib, diametri 12° gacha cho'zilgan. Bizning Mahalliy to'damizga eng yaqin galaktik to'da, 12 Mpk masofada bo'lib, u Sumbula yulduz turkumiga proeksiyalanadi. Unda ettita gigant galaktika (ulardan biri Sumbula A radiogalaktikasi) va o'nta gigant spiral galaktika kuzatiladi. Bu gigant galaktikalar, bir necha mahalliy galaktikalar to'dasi (jumladan bizning Mahalliy to'damizni ham) o'z ichiga olgan o'ta galaktikaning

quyulmasi bo'lishi ham mumkin degan taxmin bor. Bunday o'tagalaktikaning diametri 40 Mpk bilan baholanadi. Bugunga kelib astronomlar, quvvatli teleskoplar yordamida, shunga o'xshash, har biri o'nlab mahalliy galaktik to'dani o'z ichiga olgan 50 ga yaqin o'ta galaktikani ro'yxatga olgan.

8.5-§. Aktiv galaktikalar yadrosi

Oxirgi 40 yil ichida 10 mingdan ortiq diskret nurlanish manbalari ochilib, bu manbalarning kataloglari tuzildi. Bular ichida Uchinchi Kembridj katalogi (qisqacha 3S) to'laligi bilan boshqalaridan ajralib turadi. Bu manbalardan bir qanchasi o'zimizning Galaktikamizga tegishli bo'lib, aksariyat holda o'tayangi yulduzlarning chaqnash mahsulotlari hisoblanadi.

Biroq, ko'p hollarda, radionurlanishning manbalari tashqi galaktikalar bo'lib, ularning radiodiapazonda nurlanish energiyasi, optik nurlanish energiyasining atigi 10^{-6} qisminigina tashkil etadi.

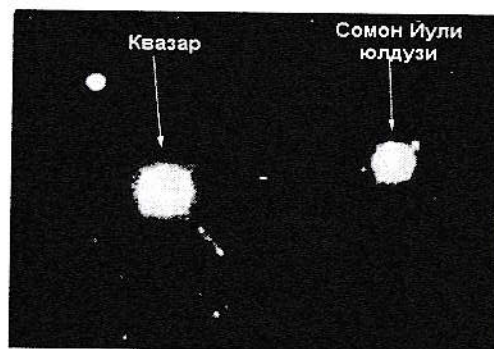
Spiral va noto'g'ri galaktikalar – kuchsiz radionurlanish manbalaridan bo'lib chiqdi. Ularning detsimetrli diapazonida nurlanish energiyasi taxminan 10^{32} Vt ni tashkil etadi. SHu diapazonda elliptik galaktikalarining nurlanishi 100 marta o'rtiq bo'lib, 10^{36} Vt atrofida chiqadi.

Radiodiapazonda nurlanish quvvati, optik diapazondagi nurlanish quvvati bilan bir xil tartibda yoki undan ortiq bo'lgan galaktikalar – radiogalaktikalar deb yuritiladi. Shunday katta quvvatli bizga yaqin joylashgan radiogalaktika "Oqqush A" deb ataladi. Qizilga siljishga ko'ra, aniqlangan uning masofasi 330 Mpk. Eng uzoqdagi radiogalaktikalardan biri "Sentavr A" bizning Galaktikamizdan taxminan 2500 Mpk masofada yotadi. Ularning radionurlanishi, noisliqlik xarakter kasb etib, magnit maydonlarida relyativistik elektronlarning sinxrotron nurlanishlari bilan tushuntiriladi.

Kvazarlar. Radiodiapazonda juda katta quvvat bilan nurlanadigan galaktikamizdan tashqi ob'ektlardan biri kvazarlardir. Birinchi kvazar 1960 yilda Uchburchak yulduz turkumida 3 S 48 nomli radiomanba 16^m yulduzga o'xshash ob'ekt sifatida qayd etildi. 1963 yilda 13 yulduz kattaligiga ega bo'lgan radio ob'ekt Sunbula yulduz turkumida topilib, 3 – Kembridj katalogida 3S273 nom bilan qayd etildi. Uzoq vaqtga qadar bu ob'ektlarning spektrlarini tahlil qilish qiyin bo'ldi. Va nihoyat, ularning spektridagi chiziqlar qaysi atomlarga tegishli ekanligi aniqlangach, ularning qizilga siljish kattaliklari aniqlandi. So'ngra Xabbl qonuni asosida, ularning masofalari va yorqinliklari hisoblandi. Ayni paytda bir necha yuzlab kvazarlar kashf etilgan bo'lib, ulardan OQ172 nomlanganigacha masofa 10 milliard yorug'lik yilidan ham ko'p bo'lib chiqadi.

Kvazarlarning nurlanish energiyasi juda yuqori bo'lib, ularning nurlanish quvvati 10^{40} - 10^{41} Vt ni tashkil etadi. Bu kvazarlar yuz milliardlab yulduzi bo'lgan eng quvvatli galaktikalarning yorqinligidan 100 -1000 marta ko'p quvvat bilan nurlanadi degani bo'ladi. Taxmin qilinishicha, kvazarlar, galaktikalar evolyusiyasining uncha uzoq davom etmaydigan bir bosqichidir.

Ma'lumki kvazarlar 1960 yil kashf qilinib, ular tabiati uzoq vaqtgacha noma'lum bo'lib kelgan. Ular spektrida biror chiziq qaysi kimyoviy element bilan bog'liq ekanini aniqlashning dastlab iloji bo'lmagan. Faqat uch yildan so'ng amerikalik astronom M.Shmidt barcha spektral chiziqlar qizil tomonga keskin siljigan bo'lishi lozim degan taxminidan keyin bu chiziqlarning to'lqin uzunliklari aniq topilgan. Natijada «Radiomanbalarining uchinchi Kembridj katalogi»dagi 3C 273 va 3C 48 deb belgilangan va optik nurlarda xira bo'lgan yulduzlarga mos kelgan ob'ektlar spektrining kaliti topilgan. qizilga siljish qiymati esa Dopler effekti orqali topilib, bu qiymatga mos tezlik 150 000 km/sek ekani aniqlangan. Ma'lumki bizning Galaktikamizdagi yulduzlar uchun eng katta tezlik qiymati 400 km/sek dan oshmaydi. Demak bu yulduzlar Somon Yo'li galaktikasiga umuman ta'luqli bo'lmay, bizdan juda uzoq masofada joylashgani aniq bo'ldi. Bu ob'ektlar nomi yulduzsimon radiomanba (quasi-stellar radio source) - qisqacha kvazar (quasar) deb nomlandi. O'sha yillariyoq bu ekzotik nom ilmiy maqolalardan matbuot ro'znomalari saxifasiga o'tib, astronomik ob'ekt bo'lmagan - televizor va ayrim uy anjomlari shu nomda atala boshlandi.



8.7 - rasm. Mashxur 3S 273 raqamli kvazar. Uning quyi qismida bir tomonga otilib chiqqan qaynoq oqim - jetni yaqqol ko'rish mumkin.

Bugungi kunda 4000 ga yaqin kvazarlar ma'lum. Ular ichida eng ravshani 3S 273 xisoblanib, uning yorqinligi normal gigant galaktika yorqinligidan 100 marotaba katta (89-rasm). Uning ko'rinma yulduziy kattaligi $12^m,7$ ga teng, qizilga siljishi esa $z=0,158$ bo'lib, bu qiymatga taxminan 630 Mpk masofa to'g'ri keladi. U radiogalaktika kabi bir tomonlama ajralib chiqqan massa

oqimi - jet bilan xam mashxur. Ushbu jet optik va infraqizil to'lqin uzunliklarda yaxshi kuzatiladi.

Kvazarlarni Koinotda o'rta xisob bilan eng kuchli nurlanish manbasi deyish mumkin. Barcha to'lqin uzunliklar (radio, infraqizil, optik, ultrabinafsha, rentgen va b.) bo'yicha kvazarning nurlanishi umumiy quvvati 10^{46} - 10^{47} erg/sek. Kvazarlar o'z yorqinliklari bo'yicha Seyfert galaktikalari qatoridan joy olib, xuddi ular kabi nurlanishlari vaqt davomida o'zgaruvchan. Bu o'zgaruvchanlik davri asosan oylar va haftalar bilan o'lchanadi. Bunchalik kichik davrga ega bo'lgan jismning o'lchami galaktikalar o'lchamidan juda keskin kichik bo'lishi kerak. Masalan, samo jismining nurlanishi bir kun davr bilan o'zgarib tursa, undan kelayotgan nur 1 sutkada atigi bir yorug'lik kuni masofasini o'tib, uni o'lchami aynan 1 yorug'lik kuniga taxminan teng bo'lishi kerak. Bir yorug'lik kuni masofasi Quyosh sistemasining o'lchamiga yaqin. Unday bo'lsa darrov savol tug'iladi: qanday qilib Quyosh sistemasi o'lchamiga yaqin jism milliard yulduzlardan iborat galaktika nurlanishidan 100 marotaba ko'p quvvatni o'zidan tarqatishi mumkin? Radioastronomlar kvazarlar o'lchamlarini qit'alararo interferometr yordamida o'lchab, ular juda kichik ekanliklarini tasdiqladilar va murakkab strukturaga ega bo'lishlarini ko'rsatib berdilar. Bu ma'lumotlar asosida nazariyotchilar kvazarlarning turli modellarini tuza boshlaganlar. Dastlabki modellarga ko'ra, kvazarlar yulduzlarning o'tazich sistemasi bo'lib, ularda massiv yulduzlar portlashi yordamida yorqinlikning o'zgarishi tushuntirilgan. Lekin bu model xozircha ancha taqribiy va ba'zi ma'lumotlarni o'z ichiga olmaydi. Yana bir nechta modellar ichida quyidagisi xaqiqatga ancha yaqin. Unga ko'ra, kvazarlar endi shakllanayotgan galaktikalar o'zagi qismi bo'lib, uning markazida juda katta massali qora o'ra joylashgan va kuzatilayotgan jarayonlar atrof muxitdagi gaz moddasining bu qora o'raga akkretsiyalanishi (katta tezlik bilan tushishi) bilan tushuntiriladi. Tuzilgan eng asosiy modellar va xisob - kitoblarga tayangan xolda shunday xulosa qilish mumkin: kvazarlar vujudga kelayotgan chaqaloq galaktikalarning o'zaklaridir.

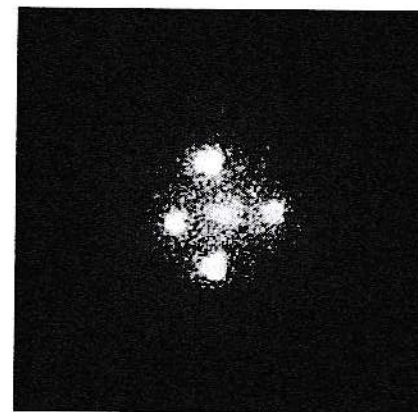
Lekin kvazarlarni o'rganish xali ancha davom etadi. Dastlab ularga eng yaqin fazo tuzilishi o'rganilishi lozim. Darxaqiqat, nuqtaviy manba deyilishi mumkin bo'lgan kvazarlar atrofida tumanliksimon qobiqlar mavjud. Afsuski, bu qobiqlar shu darajada xiraki, ular faqat bizga yaqin bo'lgan kvazarlarda yaxshi kuzatiladi. Ular tuzilishi yumshoq patlarning parlariga o'xshaydi. Ushbu qobiq o'lchami gigant galaktikalar o'lchamiga yaqin bo'lib, ular markazida kichik va zich o'zak - kvazar joylashgan. Bu qobiq tuzilishida ko'pincha spirallar kuzatilib, ko'p xollarda ulagichli spiral galaktikaga o'xshab ketishi aniqlangan. Demak, 1982 yili amerikalik astronomlar T.Borosan, J.Ouk va K.Grinlar 3S48 qobig'ining spektrida magniy elementining yutilish chizig'i $Mg\ Ib\ \lambda\ 5175$ ni topganlari bejiz emas ekan. Axir bu qator turdagi oddiy yulduzlar spektrida uchrab turadigan spektral chiziq-ku! Demak, 3S48 kvazarning qobig'ida yulduzlardan iborat komponenta bo'lishi kelib chiqadi. Kvazarning o'zida esa agar qora o'ra bo'lsa, uning massasi 100 million Quyosh

massasidan iborat bo'lib, u yiliga kamida 100 Quyosh massasini (aniqrog'i, gazsimon plazmani) atrof – muxitdan yutib yuborib turishi kerak bo'ladi. Lekin bu qachongacha davom etadi va qay tarzda normal galaktika tug'ilishi umuman noma'lum. Demak, **kvazar – bu akkretsiyon diskga ega bo'lgan qora o'ra** bo'la olib, uning yaqinida joylashgan va aktiv xarakatdagi gaz keng emission chiziqlarni spektrda xosil qiladi, uzoqdagi sovuq gaz moddasi esa yutilish chiziqlarini vujudga keltiradi. Yana bir natijalarga ko'ra, kvazarlarni radioaktivlik jixatidan uch sinfga ajratishimiz mumkin: radioaktiv; radionurlardagi energiyasi o'rta me'yorli; radioda xira va tinch. Oxirgi turi borgan sari nisbatan ko'proq foizni tashkil etishi ayon bo'lmoqda. Lekin ular xar birining Koinotdagi taqsimoti qanday va radioaktivlik xususiyati bizdan ulargacha bo'lgan masofaga bog'liqmi kabi savollar xali o'z echimini topgani yo'q.

O'zagi aktiv galaktikalar qatoriga latsertidalar nomli ob'ektlar xam kiradi. Ulardan eng birinchisi "Kaltakesak" (Lacerta) yulduz turkumining BL belgisi bilan ma'lum bo'lgan nuqtaviy radiomanba ekani sababli qolganlarini xam shu nomda latsertidalar deb atash qabul qilingan. BL Lac ilgari adabiyotda Galaktikamizning o'zgaruvchan yulduzlaridan biri bo'lgan. Bu ob'ektlar spektrida Seyfert galaktikalar, kvazarlar va radiogalaktikalardagi kabi emission chiziqlar yo'q. Kvazarlar va Seyfert o'zamlari ravshanligi uzog'i bilan 5 marta o'zgarsa, latsertidalarniki bir necha o'n marotaba o'zgarib turadi. Demak, bu nurlanish ularda noyulduziy va noisliqlik tabiatlariga ega. Bu ob'ektlar fizikasini to'g'ri tushunish maqsadida ularning absolyut yulduziy kattaliklarini bilish lozim. Kuzatuvlarga ko'ra, BL Lac uchun bu kattalik -23^m , uning qizilga siljishi $z_{0.07}$ ekan. Bu absolyut yulduziy kattalik bizning Galaktikamiznikidan -2^m ga ravshan ekanligi ularni so'zsiz o'zagi faol galaktikalar sinfiga taaluqli ekanidan dalolat beradi. Ular spektri bo'yicha kvazarlardan farq qilsada, katta nurlanish energiyasi o'zakdagi nuqtaviy jismdan ajralayotgani bilan baribir yaqin turadi. **Latsertidalarda xam kvazarlarga o'xshab atroflarida tumansimon qobig' borligi aniqlangan. Ular kvazarlarga nisbatan bizga ancha yaqin bo'lgan gigant galaktikalar sinfiga kirib, qobiqlarining absolyut yulduz kattaligi -21^m . Latsertidalarning optik to'lqinlardagi o'zgaruvchanligi 4^m - 5^m gacha farq qiladi.**

Latsertidalar modelini tuzishda kvazarlarga tegishli nazariyadan foydalanib, so'ngra u kuzatuv ma'lumotlari yordamida xisob – kitob qilinadi. Yuqorida aytib o'tilgan o'zagi aktiv galaktikalarning to'rtta sinfi (radiogalaktikalar, Seyfertlar, kvazarlar, latsertidalar) so'zsiz galaktikalar evolyusiyasining bosh, o'ta nostatsionar bosqichlari bo'lib, qisqasi ular o'zamlari eng aktiv davri xam deb aytish mumkin. Lekin ular ma'lum turdagi galaktika evolyusiyasining deyarli ketma – ket keladigan bosqichlarimi yoki tamomila evolyusion ma'nosi turlicha va o'zaro bog'lanmagan sinflarmi? Ularning galaktikaning o'zini shakllanishida qanday roli bor?

O'zagi aktiv galaktikalar va ayniqsa kvazarlar tabiati xali oxirigacha noma'lum ekaniga qaramay, ular Eynshteynning umumiy nisbiylik nazariyasi asoslarini isbotlashda juda foydali ob'ektlardir. **Bu nazariyaga ko'ra, massasi etarlicha katta bo'lgan ob'ektlarning gravitatsion maydonlaridan o'tayotgan nurlar sinib ma'lum bir fokusga yig'ilish xususiyatiga ega. Bunday ob'ektlar gravitatsion linzalar deb ataladi.** Ular fizikasi bilan nazariy jixatdan ko'p mualliflar shug'ullangan (masalan, A.Eddington, G.Tixov, A.Eynshteyn, S.Refsdal, P.Blix, A.Minakov, D.SHnayder, R.SHild, V.Dudinov va boshqalar). 1979 yilga kelib birinchi gravitatsion linza «qo'shaloq kvazar» kuzatilishi natijasida ingliz astronomlari D.Uolsh va R.Karsvell xamda amerikalik R.Veymanlar xamkorligida topilgan. Bu radiomanba 0957 + 561 A, V bilan belgilanib, bunda ko'rsatilgan sonlar gravilinzaning ekvatorial koordinatalarini, ikkita xarf esa komponentalari sonini bildiradi. Qizig'i shundaki, A va V komponentalarining spektrlari to'la bir xil, vaxolanki tabiatda spektri tamomila ustma-ust tushadigan ikkita jism bo'lishi mumkin emas! Demak bu yagona nurlanish manbasining – kvazarning u bilan kuzatuvchi orasida o'rin olgan massiv jismning kuchli gravitatsion maydonida tasviri sinishi bilan bog'liq xodisadir. Gravitlinza komponentalar soni va ularning joylashuvi avvalambor kvazar, linza va kuzatuvchi bir to'g'ri chiziqdan qaysi biri va qay darajada chetda ekaniga bog'liq. Agar uchchala jism ideal ravishda yagona to'g'ri chiziqda bo'lsa, biz linza atrofida xalqasimon ob'ektni ko'ramiz (shunday xol aslida mavjud bo'lib, bu linza «Eynshteyn xalqasi» deyiladi).



8.8-rasm. «Eynshteyn buti (kresti)» nomli gravitatsion linza (QSO 2237 + 0305).

U sistemaning markazida joylashib, atrofida 4 ta komponentasi bor (ushbu tasvir O'zFA Astronomiya Instituti Maydanak baland tog' observatoriyasida olingan). Bu struktura 1987 yili Mauna-Kea baland

tog' observatoriyasining 3,6-metrli teleskopida PZS-detektor yordamida olingan (gap shundaki, unga qadar kuchsiz teleskopda to'rtta komponenta birlashib xalqaga yaqin strukturaga ega edi). Rasmdagi gravitatsion linzani xar safar nomerini aytish o'rniga uni krestga ramziy ravishda o'xshatib nomlash oson. O'sha yillari kuzatuvdan olingan ma'lumotlarga ko'ra bu gravilnza yadrosining qizilga siljishi $z \approx 1,7$, komponentlari uchun esa $z \approx 0,04$ ga teng. SHunga yaqin natijalar keyinchalik Respublikamizning Qashqadaryo viloyatidagi Maydanak baland tog' astrofizik observatoriyasiga qarashli 1,5-metrli teleskopda zamonaviy PZS-detektor yordamida muallif ilmiy guruxi va Ukrainalik xamkasblari bilan xamkorlikda qo'lga kiritilgan (90-rasm).

Bugun 50 dan ortiq gravitatsion linzalar topilgan. Ularni eng katta o'lchamli va **tabiiy teleskoplar** deyish mumkin. Bu «teleskoplar» yordamida Yerda quriladigan eng yirik teleskop bilan bevosita (gravilnzasiz) kuzatib bo'lmaydigan bizdan eng uzoq masofalardagi xususan kvazarlarni tadqiqot qila olamiz. Xozir bunday tadqiqotlarni O'zFA Astronomiya instituti va O'zMU Astronomiya kafedrasida xamkorlikda faol olib bormoqda.

IX BOB. KOSMOGONIYA VA KOSMOLOGIYA

9.1-§. Kosmogoniya va kosmologiya: asosiy muammolar

Koinot ob'ektlarining (sayyoralar, yulduzlar va x.k.) vujudga kelishi va evolyutsiyasi muammolarini Nyuton mexanikasi doirasida o'rganadigan fan **kosmogoniya** deyiladi. Kosmogoniya muammolarining xal etilishi ilmiy dunyoqarashimizni bir butun rivojlantirish uchun juda muxim bo'lib, u nafaqat astronomlarni, balki boshqa fan olimlari uchun xam qiziqarli. Shu bilan birga, kosmogoniya muammolari astronomiyaning ancha murakkab masalalari qatoridadir. Darhaqiqat, biz xozir ko'rib kuzatayotganlarimiz - bu shu ondagi Koinot tasvirlaridir. Bu kuzatuv natijalari orqali biz ob'ektlar va ular sistemalarining shu vaqtdagi xolati xaqidagina xulosa qila olamiz, lekin ular avval qanday xolatda bo'lgan va kelajakda nima bo'ladi? - mana bu masalalarni hal qilish esa albatda ancha og'ir masala xisoblanadi. Shunga qaramasdan, oxirgi vaqtlarda biz osmon jismlarining paydo bo'lishi va rivojlanishi haqida ko'pgina xulosalarga ega bo'ldik. Kosmogoniya muammolarini hal qilishda asosan ikki xil yondoshishdan foydalaniladi. Birinchi yondoshish bu - nazariy yo'l bo'lib, bunda fizikaning umumiy qonunlaridan kelib chiqqan holda osmon jismining shu kunda ega bo'lgan xususiyati uchun boshlang'ich holat aynan qanday bo'lganligi va qanday rivojlanish bosqichini o'taganligi haqida xulosa qilinadi. Ikkinchisi bu - kuzatuv bo'lib, bunda turli rivojlanish bosqichida bo'lgan osmon jismlari xususiyatlari solishtirilib, bu rivojlanish qanday bosqichlar ketma-ketligidan iborat ekanligi aniqlanadi. Bu usulni bilan biz albatta, ko'p sonli ob'ektlarga, jumladan, yulduzlar va ularning to'dalari, gaz tumanliklari, galaktikalarga qo'llashimiz mumkin. Lekin sayyoralar sistemasi masalasida esa bu ancha murakkab, chunki biz faqat bita shunday sistemani, ya'ni quyosh sistemasini bilamiz. Shuning uchun, sayyoralar sistemasi nazariy usulda o'rganiladi.

Shuni aloxida aytish kerakki, aloxida ob'ektlarni o'rganish bir butun Koinotning xususiyatlari haqida xulosa chiqazishimiz uchun etarli emas. Koinotning bir butun tuzilishi, uning fizik tabiati va evolyutsiyasi masalasi bilan astronomiyaning aloxida bo'limi bo'lmish - kosmologiya shug'ullanadi. Hozirgi kunda eng zamonaviy teleskoplar bilan kuzatish mumkin bo'lgan chegaradagi koinotga Metagalaktika deyiladi. Kosmologiyada, hususan, manna shu Metagalaktikaning umumiy xususiyatlari o'rganiladi. Kosmologiya muammolarini hal qilishda umumiy nisbiylik nazariyalaridan foydalaniladi. Bundan tashqari, kosmologiya astronomiyaning boshqa bo'limlari kabi kuzatuv ma'lumotlariga suyanadi. Ammo bu erda yagona qiyinchilik shundan iboratki, butun Koinotning xususiyatlari kuzatuv yordamida isxol qilingan uning bo'laklari xususiyatlaridan tamomila farq qilishi mumkin. Biz

kosmologiya bo'limida xususan, quyidagi muhim va qiziqarli muammolarni qaraymiz:

- Nima uchun Koinotda modda aloxida-aloxida bo'laklardan iborat gaz bulutlariga ajralgan, qaysiki ulardan oqibatda galaktikalar yuzaga kelgan?
- Nima uchun bu galaktikalar o'zaro uzoqlashib ketyapti?
- Galaktikalar yuzaga kelishidan avval Koinotdagi materiya qanday ko'rinishda bo'lgan?

9.2-§. Quyosh sistemasining vujudga kelishi va evolyutsiyasi

Quyosh sistemasining vujudga kelishi haqidagi nazariyalar juda ko'p. Lekin har qanday bu mavzuga tegishli nazariya quyidagi kuzatuv ma'lumotlarini tushuntirib bera olishi shart:

1) quyosh sistemasi massasining 99% i quyoshda jamlanib, qolgan 1% gina uning atrofida aylanuvchi sayyoralar, ular yo'ldoshlari va xakozolarning birgalikda xosil qilgan massasiga to'g'ri keladi;

2) quyosh sistemasi xarakat miqdorining 98% i sayyoralarda, 2% gina quyoshda;

3) Sayyoralarning quyoshdan uzoqligi Titsius-Bode qonuniga bo'ysunadi: $R=0,3 \cdot 2^n + 0,4$ (astronomik birlikda);

$n=-\infty$ da quyoshdan Merkuriygacha masofa.

$n=0$ Quyoshdan Veneragacha bo'lgan masofa.

$n=1$ Quyoshdan Yergacha bo'lgan masofa.

$n=2$ Quyoshdan Marsgacha bo'lgan masofa.

$n=3$ Asteroidlar poyasi joylashgan.

$n=4$ Yupiter

$n=5$ Saturn

Plutonga qadar shu formulani ishlatga bo'ladi.

4) Barcha sayyoralar quyosh atrofida va o'z o'qi atrofida aylanma harakatda bo'ladi;

5) Venera va Uran o'z o'qi atrofida aylanishi orbital aylanishiga teskari bo'lib, qolgan 7 ta sayyora o'z o'qi atrofida aylanish yo'nalishi ularning orbital harakat yo'nalishiga mos keladi;

6) Sayyoralar massalari, o'lchamlari, kimyoviy tarkibi va yo'ldoshlarining soni bo'yicha Yer tipidagi va gigant sayyoralar turlariga bo'lingan;

7) Gigant sayyoralar atrofida ulkan halqasimon strukturalar mavjud. Bu halqalar turli xil muzliklar va gaz-changlardan iborat.

8) Gigant sayyoralarning tabiiy yo'ldoshlari 10-20 ta, Yer tipidagi sayyoralarda esa bitta, ikkita, yoki umuman yo'q;

9) Hamma sayyoralar taxminan bitta tekislikda yotuvchi ellipslar bo'yicha bir tomonga harakat qiladilar;

10) Quyosh sayyoralari sistemasining markaziy tekisligiga taxminan perpendikulyar bo'lgan o'q atrofida aylanadi;

11) Mars va Yupiter sayyoralari orasida kichik sayyoralar belbog'i mavjud;

Turli mavjud bo'lgan nazariyalar ichida nisbatan ko'proq kuzatuv ma'lumotlarini tushuntirib bera oladigan (lekin hammasini emas) nazariya bu Laplas va Shmidt nazariyasi bo'lgan hamda u quyidagicha ta'riflangan:

Yulduzlar yakka tug'ilmay, balki guruh bo'lib tug'iladi va biron bir guruhlardan biri Protoquyosh sistemasi bo'lgan. O'sha vaqtda ushbu bulut bir necha baravar katta ekanligi va ma'lum kichik aylanish momentiga ega bo'lganligi kuzatuvlardan ma'lum. Bu holatda $T=0$ deb olsak taxminan 10^5 yil ichida ushbu protosistema yadrosi va uning atrofida mayda bulutchalar vujudga kelishi hisob-kitoblardan topilgan. Gravitatsion siqilish davom etib, markaziy sohada asta-sekin Protoquyosh paydo bo'la boshlagan va u siqilib unda termoyadro reaksiyasi boshlanishi uchun 10^8 yil yana kerak bo'lgan. Shu davr ichida Protoquyosh atrofida akkretsiya disk vujudga kelib, bu diskning o'z tekisligidagi gravitatsion barqarorligi tufayli qator halqalarga bo'linib ketgan. Ushbu halqalarda sayyoralarning tug'ilish jarayoni ro'y berib 108 yilda xususan Erning protosayyorasi vujudga kelgan. Merkuriy va Venera uchun ular halqasi kichikligi tufayli undan moda tez yig'ilib 100 marta kam davrda shu 2 sayyora protosayyoralari xolati vujudga kelgan. Yer protosayyorasi endi vujudga kelganda uning o'lchami 150 marta kata bo'lgan. U siqilib borib o'z o'qi atrofida aylanishi oshib borgan siqilishi. Bugungida taxminan 5 soatda o'z o'qi atrofida to'la aylanib chiqardi. Shu davrdan 10^6 yil o'tgach u so'vib aylanish tezligi bugungi kundagi holatiga etib kelgan.

Hozirgi kunga kelib yuqoridagi nazariyalar yanada rivojlantirildi va u nazariyaga ko'ra quyosh sistemasining yuzaga kelishi quyidagi bosqichlarga aniq ajratilgan:

1. H_2 , H_2O , OH va boshqa molekulalar hamda changdan iborat yulduzlararo modda bulutining zichlashishi. Bu zichlashish o'ta yangi yulduzning portlashi natijasida atrofga tarqalgan zarb to'lqini natijasida

bo'lishi mumkin. Bu portlash maxsulotlari yulduzlara changga singib borgan va oqibatda bu chang uglerodli xondritlar tarkibiga kirgan.

2. Massasi yulduz massasi tartibida va zichligi nisbatan katta bo'lgan bulut qismlari siqilish jarayonini boshlagan. Bulut bo'laklarga (framentlarga) bo'linib, bu bulaklarning biridan oqibatda Quyosh va Quyosh sistemasi paydo bo'lgan. Siqilayotgan bo'lak markazida gaz va changning quyulashishi yuzaga kelib, bu quyuklashish akkretsiya yadrosini yuzaga keltiradi. Akkretsiya jarayoni - yadro o'zi atrofida siyrak muxitni yig'a borib, ma'lum bir yaqin kelganlarini o'ziga tartib olishi natijasida uning massasi uzluksiz oshib boradi.

3. Markaziy quyuklashish massasi taxminan $0,1 m_{\odot}$ qiymatiga etganda modda rangi xiralashib temperaturasi oshadi va undagi chang bug'lanadi. Bu esa fragment siqilishi boshlanganidan $10^4 - 10^5$ yil o'tgandan keyin ro'y beradi. Chang bug'lanishi bilan tezda vodorod molekulasiyalarining dissotsiatsiyasi jarayoni ro'y beradi. Bunda markaziy quyuklashish siqila boshlaydi va gazsimon protoyulduz (protoquyosh) shakllanadi. Bu Protoyulduzning shakllanishi juda tez, taxminan 10-100 yil oralig'ida ro'y beradi.

Protoquyoshga yulduzlara moddaning akkretsiyalanishi davom etadi va buning natijasida uning massasi va radiusi oshib boradi. Taxminan 10^5 yildan keyin uning massasi hozirgi kundagi massasi darajasiga erishib, radiusi esa hozirgisidan, taxminan 100 barobar katta bo'lgan. Bu vaqtga kelib yulduzlara moddaning qo'shilishi tugaydi va Protoquyoshning gravitatsion siqilishi bosqichi boshlanadi. Bu davr davomida markazida Protoquyosh bo'lgan disksimon protosayyora gaz-chang tumanligi yuzaga kelib bo'ladi. Aslida bu disksimon protosayyora Protoquyosh bilan bir vaqtda rotatsion beqarorlik tufayli shakllanadi, lekin uning kattalashishi esa akkretsiya jarayonida davom etadi. Protosayyora tumanligining maksimal massasini baholash turli nazariy modellarda xil xil va u taxminan $0,01$ dan $2 m_{\odot}$ gacha bo'lgan oraliqda joylashgan.

Protosayyora tumanligi diskining xalqasimon tuzulmaga ega bo'lishi mustasno emas. Diskning tashqi qismlarida gigant sayyoralar shakllana boshlaydi. Bu shakllanish jarayoni bilan bir vaqtda Protoquyosh va uning atrofida yuqorida qayd etilgan disk ham shakllanib boradi. Bu diskdan esa keyinchalik tabiiy yo'ldoshlar sistemasi paydo bo'ladi.

Bu davrning boshlang'ich etapida protoyulduz shakllanishi oldida bug'langan va keyinchalik diskka tushgan chang moddasining ma'lum bir qismi qattiq holatiga yana qaytadi. Bu kondensatsiya jarayonida oddiy xondritlarning zarrachalari va shu qatorda xondritlarning o'zlari ham yuzaga keladi.

Zamonaviy modellarda harakat miqdori momentining taqsimoti bo'yicha klassik muammoni hal qilish masalasida asosan protosayyora tumanligidagi

gaz zarrachalari ionlashgan, a Protoquyosh esa ma'lum bir magnit maydoniga ega deb faraz qilinadi. Plazma va maydonning o'zaro ta'sirlashuvi natijasida gaz oqimlari yuzaga kelib, ular protosayyora tumanligiga ma'lum bir harakat miqdori momentini uzatadi.

4. Keyingi bosqich taxminan 10^8 yilni o'z ichiga oladi. Bunda Protoquyoshning gravitatsion siqilishi davom etadi. Bu bosqichning boshida u Savrning T tipli yulduzi bosqichida bo'ladi. Siqilish davomida uning o'lchamlari kichiklashib hozirgi vaqtdagi o'lchamiga intilib boradi. Kuchli yulduz shamoli esib protosayyora tumanligining ichki qismidan gazni olib chiqadi. Protosayyora tumanligi tashqi qismlarida esa gigant sayyoralar shakllanishi davom etadi.

Protosayyora tumanligining chang moddasi borgan sari qandaydir o'rta tekislikka kontsentratsiyalanib (yig'ilib) boraveradi. Yig'ilib borayotgan changlar to'qnashishi natijasida yanada yirik zarrachalar yuzaga keladi va qattiq jism akkumulyatsiyasi jarayoni boradi. Shu yo'sinda katta jismlarning asosiy o'sishlari kichiklari hisobiga yuz beradi. Asteroidlarga o'xshash ulkan jismlar - bular kelajakda sayyoralarini paydo bo'lishi uchun zamin xisoblanadilar va sayyora asoslari deb ataladilar.

Vanihoyat bir qancha aloxida ulkan jismlar shakllanadi. Ular akkretsiya uchun yadrolar vazifasini bajaradi va atroflarida Yer tipidagi sayyoralar paydo bo'la boshlaydi. Sayyora asoslari soni bu davrda juda ko'p bo'lib, to'qnashish natijasida ular nafaqat birlashadilar, balki xattoki parchalanadilar ham. Bunday parchalanishlar differentsiallashgan meteoritlarni tug'ilishiga olib kelgan.

Taxminan 10^8 yil davomida Yer o'zining hozirgi o'lchamiga erishgan (ba'zan bu davrni 105 deb baholashadi). Erga nisbatan Venera sayyorasi tezroq kattalashgan. Yer tipidagi sayyoralar tarixida akkretsiya davri juda jiddatli vaqt hisoblangan. Sayyoralar sirtiga ulkan sayyora asoslari to'dalari kelib urilib u erda gigant kraterlarni hosil qilgan, ma'lum bir modda qismi fazoga otilib chiqqan, sayyora sirtidagi modda tarkibi uzluksiz o'zgarib turgan.

Albatta aytish mumkinki, bundan 4,5 milliard yil avval ro'y bergan xodisalar tavsifini aniq keltirish juda qiyin, lekin yulduzlara muhit va juda yosh yulduzlarni kuzatish natijalari, meteoritlar va sayyoralar atmosferasining tuzilishi hamda tarkibini tahlil qilish asosida biz kun sayin quyosh sistemasining paydo bo'lishi va rivojlanish evolyutsiyasi masalasining echimi sari yaqinlashib bormoqdamiz.

9.3-§. Gigant va Yer tiplaridagi sayyoralarning kelib chiqishi

XVIII asrda Nyuton mexanikasi yutuqlaridan foydalanilgan xolda Koinot haqida quyidagi tassavur hosil qilindi: - Koinot tabiatning aniq qonunlariga bo'ysunuvchi kosmik jismlar sistemasidir va bu sistema o'zgarmasdir. Unga ko'ra Koinotning murakkab mexanizmi bir marta berilib, keyin esa u o'z-o'zidan o'zgarishsiz davom etavergan. 1644 y. Dekart birinchi bo'lib quyosh sistemasi gaz va changdan iborat bulutdan yuzaga kelgan degan gipotezani aytgan. Xudi shunday gipotezani keyinchalik Byuffon (1749) va Kant (1755) Lar rivojlantirgan. Ularning faraziga ko'ra bulut markazida quyosh, periferiya qismlarida esa sayyoralar yuzaga kelgan. Lekin bu vaqtda hali atom nazariyasi, termodinamika, gazlarning kinetik nazariyasi, kosmosning elementlar bilan boyib borishi va boshqa ko'plab kerakli ma'lumotlarning yo'qligi sababli yuqoridagi gipotezalar to'laqonlik bilan ishlab chiqilmagan.

1796 y. Laplas tumanlikning aylanishi sayyoralar yuzaga kelishida asosiy rol o'ynagan degan xulosaga kelgan. Haqiqatan, masalan, siqilayotgan sferik tumanlikning m massali elementi r radiusli orbita bo'ylab ma'lum bir burchak tezlik bilan aylanayotgan bo'lsin. Agar bu elementning $I = m\omega r^2$ harakat miqdori momenti o'zgarmas bo'lsa, unda uning ω - burchak tezligi tumanlikning siqilishi davomida oshib boradi. Tumanlikning umumiy massasini M desak, m - massali elementga quyidagi og'irlik kuchi

$$F_1 = G \frac{M \cdot m}{r^2}$$

va quyidagi markazdan qochma kuchi ta'sir qiladi

$$F_2 = m\omega^2 r = \frac{I^2}{mr^2}$$

Siqilish jarayonida markazdan qochma kuch og'irlik kuchiga nisbatan tez o'sib boradi va ular tenglashganda rotatsion beqarorlik yuzaga keladi. Bu beqarorlik natijasida tumanlik bosiqlashib borib, ekvator qismidan modda ajraladi. Ajralib chiqqan moddadan tumanlik atrofida Saturn xalqalariga o'xshash tekislik shaklidagi xalqalar shakllanadi. Laplas tumanlikdan ajralib chiqqan gaz kondensatsiyalanib borib sayyoralarni yuzaga keltirgan deb taxmin qilgan. Hozirgi kundagi zamonaviy kosmogonik tassavurlarda keltirgan gipotezalar saqlanib qolgan (quyosh va sayyoralarning yagona tumanlikdan birgalikda paydo bo'lgani, rotatsion beqarorlik nazariyalari).

Yuqorida aytilishicha, Quyosh sistemasida harakat miqdori momentining 98% i sayyoralarga va faqat 2% gina quyoshga to'g'ri kelar ekan. Lekin agar birlik massaga to'g'ri kelgan harakat miqdori momentini (solishtirma burchak momenti) hisoblasak, u holda farq 50 marta emas, 50

000 martani tashkil etar ekan. Kant va Laplas gipotezalari klassik formada buni tushuntirib bera olmagan. Haqiqatan, boshida siqilishdan avval tumanlikning hamma elementlari (qismlari) teng huquqli va bir xil burchak tezlikka ega bo'lgan. Ingliz olimi Jins bu qiyinchilikni bartaraf qilish maqsadida boshqa kosmogonik gipotezani taklif qildi. Jins gipotezasiga ko'ra quyosh boshqa yulduzlar kabi sayyoralar sistemasisiz yuzaga kelgan, sayyoralar sistemasi esa quyoshga juda yaqin o'tgan yulduzning uning qaridan ajratib yuborgan moddasidan yuzaga kelgan, ya'ni quyoshdan ajralgan modda kondensatsiyalanib borib sayyoralarni paydo qilgan.

Aytish mumkinki, ikki yulduzning yaqin masofada yuzaga kelish ehtimoli juda kichik va Galaktikamizning shakllanishi uchun ketgan davrda juda kam sayyoralar sistemasi yuzaga kelgan, hattoki faqat bita shunday sistema, ya'ni bizning quyosh sistemamiz yuzaga kelgan. Bu xulosa o'z-o'zidan Jins gipotezasining to'g'riligiga shubha tug'diradi, lekin buni hal qiluvchi inkor fikr deb qarash kerak emas. Jins gipotezasini yanada chuqurroq qarab chiqsak boshqa shunday tushunmovchiliklar kelib chiqadi. Masalan, quyoshdan ajralib chiqqan modda solishtirma burchak momenti quyoshga yaqin o'tgan yulduzning burchak momentidan katta bo'lishi mumkin emas. Hisob-kitoblar shuni ko'rsatdiki, quyosh sistemasi yuzaga kelishi uchun quyosh va boshqa yulduz 5000 km/s tezlik bilan uchrashishi kerak, lekin bu tezlik Galaktikamizdagi parabolik tezlikdan (300 km/s) ancha katta. Galaktikamizda parabolik tezlikdan katta tezlikdagi yulduzlar juda kam.

Spektral analiz shuni ko'rsatadiki, Quyoshda litiy va deyteriy elementlari Yerdagiga nisbatan ancha kam. Ma'lumki, litiy va deyteriy yadro reaksiyasi natijasida «yonadi» va agar bu elementlar sayyoralarda ko'p ekan, demak, sayyora moddasi Quyoshdan unda yadro reaksiyasi boshlanishidan avval ajralib chiqqan. Va nihoyat, Quyoshdan ajralgan gaz kondensatsiyalanishi masalasi haqida. Bu gaz temperaturasi bir qancha yuz ming gradus darajasida katta bo'lishi kerak. Quyosh ichidagi bosim uning yuqori qismidagi qatlam og'irligi bilan muvozanatda bo'ladi, agar gaz shunday temperaturada tashqariga ajralib chiqsa, u tezda tarqab ketadi, qachonki, agar u tezda sovimasa. Ajralgan gazning uchib chiqishi uchun bir qancha soatlar ketsa, uning sovishi uchun esa bir qancha oylar kerak bo'lishini hisoblashlar ko'rsatdi.

9.4-§. Yulduzlar kosmogoniyasi

Yulduzlar proto yulduz siqilib borib termoyadro reaksiyasi boshlanishiga qadar ular nisbatan sovuq bo'lib "Spektr-yorqinlik" diagrammasining o'ng tomonida qanchalik yuqoriroq bo'lishi esa uning boshlang'ich massasiga bog'liq. Proto yulduz siqilib uning evolyutsiyasi o'ziga

yarasha trek (iz) chizib boradi va termoyadro boshlanishi natijasida biror ketma-ketlikka o'tirishga ulguradi, qaysi biriga o'tirish uning boshlang'ich holatda to'plagan massasiga bog'liq. Agar u birdan portlamasa uning evolyutsiya treki ushbu ketma-ketlik bo'ylab chapdan o'ngga qarab sodir bo'ladi. Yulduzlar endi tug'ilganda ular massasi $0,08 M_{\odot}$ dan $62 M_{\odot}$ gacha bo'lishi mumkin, bundan kattalari albatta tug'ilishi bilan portlashga majbur bo'ladi va turg'un holda uzoq yasholmaydi. Agar tug'ilgan yulduzlarning massasi Yupiter massasidan kata, lekin $0,08 M_{\odot}$ dan kichik bo'lsa ular (jigarrang yulduzlar bo'ladi), termoyadro reaksiyasi vujudga kelolmay, xech qachon sayyoraga aylanmaydi, lekin temperaturasi bir necha ming gradus kelvin bo'lib infraqizil diapozonda yaxshi kuzatiladi. Bunday jigarrang yulduzlar galaktikamiz tojida son sanoqsizdir.

Bosh ketma-ketlikda joylashgan yulduzlar uzoq vaqt davomida termoyadro reaksiya natijasida nurlanadi; ularning radiusi, yorqinligi va massasi deyarli o'zgarmasdan qoladi. Bosh ketma-ketlikda yulduzlarning o'rni ularning massasiga qarab aniqlanadi. Spektr-yorqinlik diagrammasida bosh ketma-ketlikdan pastdagi yulduzlar (subkarliklar ketma-ketligi) ximiyaviy tarkibi bilan farq qidadi: subkarliklarda og'ir elementlar ulushi o'nlab marta kam.

Termoyadro reaksiyalari natijasida yulduzlar yadrosidagi jarayonlar vodorodning geliyga aylanishi yoki boshqacha aytganda, vodorodning «yonishi» bilan ro'y beradi. Bosh ketma ketlikda bo'lish vaqti termoyadro reaksiyalari tezligiga, reaksiya tezligi esa temperaturaga bog'liq. Yulduzning massasi qanchalik katta bo'lsa, uning markazidagi temperatura shunchalik yuqori bo'lishi kerak, sababi gazning bosimi yuqori qismidagi hamma qatlamlarni muvozanatga keltirishi kerak. Shuning uchun yadro reaksiyalari massiv yulduzlarda tez boradi va bosh ketma ketlik kelish vaqti uzoq davom etadi. Hisoblashlardan B0 tipidagi yulduzlarning bosh ketma ketlikka kelish vaqti 10^7 yil, quyosh va undan keyingi spektral tipga kiruvchi yulduzlarniki 10^{10} yil ekanligi aniqlangan.

Yadro reaksiyalari yulduzlarning faqat markaziy qismida boradi. Bu sohada (yulduzlarning konvektiv yadrosi) modda hamma vaqt aralashishda bo'ladi. Vodorod yonishida yulduzning konvektiv yadrosi radiusi iva massasi kichiklashadi. Hisoblashlar ko'rsatadiki, yulduz bu vaqtda diagramma bo'ylab o'ngga qayriladi. Massiv yulduzlar tezroq qorishadi va natijada bosh ketma ketlikning o'ng qismi asta sekin o'ngga siljiydi.

Yulduz markazidagi hamma vodorod geliyga aylangandan keyin, evolyutsiyaning ikkinchi bosqichi tugaydi. Vodorodning geliyga aylanish reaksiyasi faqat yadroning tashqi qismida boradi. Bu vaqtda yadro siqiladi, yulduzning markaziy sohasidagi zichlik va temperatura ko'tariladi, yulduzning yorqinligi va radiusi oshadi. Yulduz bosh ketma ketlikka etib keladi va qizil gigantga aylanadi, evolyutsiyaning uchinchi bosqichi boshlanadi.

Yuqorida gapirilganlarning hammasi yulduz ichki tuzilishini o'rganishning nazariy ishlaridan kelib chiqadi. Bu natijalarni yulduzlar to'dalarining spektr-yorqinlik diagrammasini o'rgangan holda ham tekshirib ko'rish mumkin. Faraz qilaylik, yulduz va to'da bir vaqtda paydo bo'lgan va bir xil yoshga ega. 246 rasmda 11 ta to'da uchun rang-yorqinlik diagrammasi keltirilgan. Ulardan ikkitasi, M3 va M92 sharsimon to'dadir. Ko'rinib turibdiki, bosh ketma ketlik o'ng tomonga qayrilgan va har bir to'da uchun har xil. Tushunarliki, to'da qanchalik katta qayrilishga ega bo'lsa, shunchalik qari hisoblanadi. Bu diagrammadan qaysi to'da oldin va qaysinisi keyin paydo bo'lganligini va ularning taxminan yoshini osongina aniqlash mumkin. Buning uchun diagrammada bosh ketma ketlikdan ketgan yulduzlarning tipini bilishimiz kerak. NGC 2362 to'dasi eng yoshdir, uning yoshi bir necha dasi eng yoshdir, uning yoshi bir necha o'n million yilga teng. Sharsimon to'dalarda bosh ketma ketlik sal ko'rinadi. Yuqori qismi yulduzlar evolyutsiyaning ikkinchi bosqichidan o'tib bo'lganligi sababli, pastki qismi esa xira yulduzlarni kuzatish mumkin bo'lmaganligi sababli ko'rinmaydi. Lekin sharsimon va qari to'dalarda qizil gigantlar tarmog'i yaxshi ko'rinadi. Bu esa ulardagi ko'pchilik yulduzlar evolyutsiyaning uchinchi bosqichida ekanligini bildiradi.

Tarqoq to'dalarda qizil gigantlar sharsimon to'dalarnikiga nisbatan pastga, bosh ketma ketlik esa yuqoriga qarab ketadi. Bu nazariy yo'l bilan sharsimon to'dalarda og'ir elementlar kamligi bilan tushuntirish mumkin. Haqiqatan, sharsimon to'dalarda yotuvchi sferik tashkil etuvchi yulduzlarda og'ir elementlar ulushi tekislik tashkil etuvchi yulduzlarga nisbatan kamroq ekanligini kuzatuvlar ko'rsatadi. Shunday qilib, nazariya yulduzlarning evolyutsiyasi haqida kuzatuvlar bilan ustma ust tushadi va ularni tasdiqlaydi.

Qizil gigant (yoki o'tagigant) lar bosqichida yulduzning zich yadrosida biror vaqt oralig'ida geliyning uglerodga aylanish reaksiyasi borishi mumkinligi taxmin qilinadi. Buning uchun yulduzning markaziy qismida temperatura $1,5 \cdot 10^8$ K bo'lishi kerak. Bunday yulduzlar spektr-yorqinlik diagrammasida qizil gigantlar tarmog'ining chap qismida bo'lishiligi hisoblashlar ko'rsatadi. Yadroda geliy reaksiyalari va vodorod reaksiyalari uning chegaralarida bo'lganda, uchinchi bosqich oxiriga etgan hisoblanadi. Bu paytda ko'lam qobiq kengayadi, uning tashqi qatlamlari tortishish kuchi ta'sirida ushlanib turmasligi mumkin va u ajralishni boshlaydi. Yulduz moddasini yo'qotadi va uning massasi kamayadi. qizil gigantlar yoki o'tagigantlar atmosferasidan haqiqatan ham, modda oqib chiqishi kuzatuvlardan ko'rinadi. Bu paytda jarayon sekin ketadi. Ayrim hollarda yulduz tezda massasining bir qismini yo'qotishi mumkin va jarayon portlash xarakteriga ega bo'ladi. Bunday jarayonni biz o'tayangi yulduzning portlashida ko'rishimiz mumkin.

Qizil gigantlardan modda sekin oqib chiqqanda, planetar tumanlik qosil bo'ladi. Yulduzning qobig'i kengayganda uning markazida faqat vodorod to'la yadro qoladi. Yulduzning massasi 2-3 Quyosh massasidan oshmasa, yadro xuddi oq kaliklarniki singari uyg'ongan holatda bo'ladi. Shuning uchun oq

karliklar evolyutsiyaning to'rtinchi (ya'ni oxirgi) bosqichi deb hisoblanadi. Shuning uchun ham, qari to'dalarning tarkibida bir necha oq karliklar bo'ladi, yosh to'dalarda esa ular uchramaydi. Biz bilamizki, oq karliklarda yadro reaksiyalari bormaydi, ular oldingi bosqichlarda to'plangan issiqlik energiyasi zaxirasi hisobiga nurlanadi. Ular asta sekin soviy boshlaydi va ko'rinmaydigan "qora" karliklarga aylanadi. Oq karliklar - bular soviydigan, umrining oxiridagi yulduzlardir. Quyosh massasidan bir necha marta katta bo'lgan yulduzlar oq karlik fazasidan o'tmaydilar, sababi ularning geliyli yadrosi uyg'ongan holatga tushmaydi. Bu holda uchinchi bosqich neytron yulduzlarning paydo bo'lishi yoki o'ta yangi yulduzlarning portlashi bilan tugaydi.

Shunday qilib, biz yulduzlarning evolyutsiyasining umumiy manzarasini, zich gaz va chang bulutidan siqiluvchan protoyulduzga, keyin bosh ketma ketlikning oddiy yulduzi orqali qizil gigantga va nixoyat, oq karlikka aylanishini ko'rib chiqdik. Bu manzarada hali ko'p narsaga oydinlik kiritilmagan.

Biz yuqorida yulduzning evolyutsiyasi jarayonida uning massasi, radiusi, temperaturasi qanday o'zgarishini qaradik, lekin uning aylanishi haqida hech narsa gapirmadik. Ma'lumki, O, V, A spektral sinfiga kiruvchi yulduzlar juda tez, 100 km/sek dan ham katta tezlik bilan aylanadilar. F sinfiga kiruvchi yulduzlar 100 km/sek dan kichik, F sinfdan keyingi sovuq yulduzlar shunday kichik tezlik bilan aylanadilarki, ularning tezligini Dopler siljishidan aniqlab bo'lmaydi. G, K, M sinflariga kiruvchi bosh ketma ketlikda joylashgan yulduzlarning aylanish tezligi bir necha o'n km/sek ga teng, lekin haqiqatda undan ham bo'lishi mumkin. Masalan, G sinfining tipik yulduzi Quyosh 2 km/sek tezlik bilan aylanadi.

Diffuz tumanliklarni kuzatishlardan, alohida moddalarning bir biriga nisbatan harakati 1 km/sek ligi kelib chiqadi. Shuning uchun yulduz paydo bo'ladigan boshlang'ich tumanlik har doim qandaydir harakat miqdori momentiga ega bo'lishi kerak.

Quyosh sistemasida 98 % i harakatlar miqdori momenti sayyoralar va 2 % i quyoshga to'g'ri keladi. Agar quyosh sistemasining butun harakatlar miqdori momenti quyoshga to'g'ri kelganida u 100 km/sek tezlik bilan aylangan bo'lar edi. Bundan, quyosh sistemasiga o'xshash sovuq yulduzlarning sekin aylanishi ularda sayyoralar bo'lishi mumkinligidan dalolat beradi. Agarda shunday bo'lsa, unda Galaktikada sayyoralar sistemalari soni judayam ko'pchilikni tashkil etishi kerak.

9.5-§. Galaktikalarning vujudga kelishi

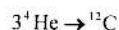
Galaktikalar Koinotning «g'ishtlari» hisoblanadi, shu sababli ularning qanday yuzaga kelgani va rivojlanish bosqichlari masalasi astrofizikaning hozirgi kundagi dolzarb muammolaridan biridir. Galaktikalarning vujudga kelish nazariyasida ikkita bir-biriga qarama-qarshi bo'lgan stsenariyalar mavjud: 1) Koinot evolyutsiyasining boshlang'ich bosqichida avval galaktikalar prototo'dalari shakllangan va ular asta-sekin yuzaga kelgan gravitatsion beqarorlik natijasida bosqichma-bosqich bo'laklarga (fragmentatsiyalarga) bo'linib borib, protogalaktikalar yuzaga kelgan va ulardan oqibat natijada galaktikalar vujudga kelgan; 2) Koinotda avval yulduzlar sharsimon to'dalarining protobulutlari paydo bo'lgan va ular asta-sekin birlashib protogalaktikalarni, ular zaminida esa galaktikalar yuzaga kelgan.

Uzoq yillar davomida, aniqrog'i XX asrning 80-yillarga qadar elliptik galaktikalar asosan asta siqilayotgan protogalaktikaning o'z o'qi atrofida aylanish tezligi oshib borishi tufayli vujudga kelgan deb tushunilgan. Hususan, Gott-III elektron hisoblash mashinasida qator sonli tajribalar o'tkazilini, yuqoridagi siqilish jarayoni natijasida elliptik galaktikalar vujudga kelishi mumkinligini nazariy tasdiqlangan. Bu usul bilan u E1 - E5 elliptik galaktikalarning vujudga kelishini ko'rsatib bergan. Biroq 80 - yillariga kelib elliptik galaktikalarning o'z o'qlari atrofida aylanish qiymatlari kuzatuvlarga ko'ra xaddan tashqari kichik ekani aniqlandi. Bu qiymatlar nazariyadagi natijalardan ancha uzoq ekani ma'lum bo'lib chikdi. Keyinchalik kuzatuvchi-astrofiziklar elliptik galaktikalarning yanada murakkab modellarini tuzish maksadida ularning aylanish chizig'i, zichlik va ravshanlik taksimotlari kabi funktsiyalarni kuzatuvlardan topa boshlab, modellashtirish muammolarini ancha chuqur hal qilishdi.

Bu davrda parallel ravishda qator nazariy ishlar ham bajarildi. Xususan, D.Linden-Bell elliptik galaktikalarning regulyar yorqinligini ular evolyutsiyasining boshlang'ich davridagi nostatsionar va o'ta aktiv kollektiv relaksatsiya jarayoni bilan tushuntirib berdi.

Galaktikamizda yulduzlararo muhit va yulduzlar moddasining umumiy mikdorilari nisbati vaqt o'tishi bilan o'zgarib turadi, chunki yulduzlararo diffuz muhitda yulduzlar paydo bo'ladi va ular o'zlarining evolyutsiyalari oxirida oq karliklar hamda neytron yulduzlarga aylanishlari natijasida ma'lum bir qismlarini yana yulduzlararo muhitga chiqazib yuboradilar. Shu yo'sinda Galaktikamizdagi yulduzlararo muhit miqdori vaqt o'tishi bilan kamayib borishi kerak. Xuddi shunday hol boshqa galaktikalarda ham kuzatiladi. Yulduzlar qarida modda qayta ishlanishi natijasida Galaktikamiz geliy va og'ir elementlar bilan boyib borgan, buning oqibatida uning kimyoviy tarkibi vaqt o'tishi bilan o'zgarib boradi. Galaktika asosan vodorod gazidan iborat bulutdan yuzaga kelgan deb taxmin qilinadi. Hattoki, bu bulutda vodorodan tashqari boshqa element bo'lmagan deb ham fikr yuritiladi.

Shunday qilib, geliy va og'ir elementlar yulduzlar markazidagi termoyadro reaksiyasi natijasida yuzaga keladi. Og'ir elementlar yuzaga kelishi uchlangan geliy reaksiyasida boshlanadi:



Keyinchalik C^{12} proton, neytron va α -zarrachalari bilan birlashishi natijasida yanada murakkab yadrolar yuzaga kela boshlagan. Biroq bunday uzluksiz ortib borish nazariyasi orqali uran va toriy kabi juda og'ir yadrolarning vujudga kelishini tushuntirish mumkin emas. Bunda keyingi nuklonni egallashga ulgurishdan ko'ra tezroq parchalanuvchi radioaktiv izotoplarning beqarorlik bosqichida bo'lishligini e'tiborga olmaslik mumkin emas. Shu sababli, Mendeleev jadvalining oxirida joylashgan og'ir elementlar o'ta yangi yulduzlarning chaqnashi vaqtida yuzaga kela boshlaydi deb taxmin qilinadi. Bunday o'ta yangi yulduzlar chaqnashlari ularning tez siqilishi natijasida ro'y beradi. Bunda temperatura benixoya oshib ketadi, siqilayotgan atmosferada termoyadro reaksiyasi zanjiri vujudga kelib, uning oqibatida kuchli neytron oqimi hosil bo'ladi. Neytron oqimining intensivligi shu qadar kuchli bo'lishi mumkinki, bunda oraliq beqaror yadrolar bo'linishga ulgura olmay, yangi neytronlarni o'zlariga olib barqaror bo'lib qoladilar.

Galaktika sferik tashkil etuvchi qismidagiga nisbatan tekislik tashkil etuvchisidagi yulduzlar og'ir elementlarga boy bo'ladi, chunki sferik tashkil etuvchi qismdagi yulduzlar Galaktika evolyutsiyasining boshlang'ich bosqichida, ya'ni yulduzlararo gaz hali og'ir elementlarga kambag'al vaqtida shakllanadilar. Bu vaqtda yulduzlararo gaz asosan sferik bulut ko'rinishida bo'lgan va markaziga qarab kontsentratsiya oshib borgan. Bunda sferik tashkil etuvchi qismda vujudga kelgan yulduzlar ham shunday taqsimotni saqlab qolgan.

Yulduzlararo gaz bulutlarining to'qnashishi natijasida ularning tezliklari asta-sekin kamayib borgan, kinetik energiya issiklik energiyasiga aylangan hamda gaz bulutining umumiy shakli va o'lchamlari vaqt o'tishi bilan o'zgarib borgan. Hisoblashlar ko'rsatadiki, tez aylanuvchi bunday bulut bizning Galaktikada kuzatiladigan yassi disk shaklini olishi kerak. Shu sababli, nisbatan kechroq yuzaga kelgan yulduzlar tekislik tashkil etuvchi qismni hosil qilgan. Bu vaqtga kelib, yulduzlararo gaz tekislik shaklidagi disk ko'rinishini olgan va u yulduzlar qa'rida qayta ishlanishdan o'tgani natijasida nisbatan og'ir elementlarni o'zida mujassamlagan. Shu sababli tekislik tashkil etuvchi qismidagi yulduzlar ham og'ir elementlarga boy bo'lgan. Ko'pincha tekislik tashkil etuvchi qismdagi yulduzlar ikkinchi avlod, sferik tashkil etuvchi qismdagilar esa birinchi avlod yulduzlari deb ataladi va bu bilan tekisliklik tashkil etuvchidagilar boshlang'ich yulduzlar qa'rida bo'lib chiqqan moddadan yuzaga kelgan degan fikrga ishora qilinadi.

Boshqa spiral galaktikalarda ham rivojlanish etapi xuddi shunday ro'y bergan deyish mumkin. Yulduzlararo gaz mujassamlashgan spiral tarmoqlar

shakli galaktika umumiy magnit maydon kuch chiziqlari yo'nalishidan aniklanadi. Yulduzlararo gaz "yopishgan" magnit maydon eguluvchanligi gaz diskining yuqqalanishini chegaralaydi. Agar yulduzlararo gazga faqat og'irlik kuchi ta'sir etganda edi, uning sikilishi cheksiz davom etgan bo'lardi. Bunda katta zichlik hisobiga yulduzlararo gaz tez yulduzlarda yig'ilib qolmagan bo'lar edi. Yulduzlarning vujudga kelish tezligi yulduzlararo gaz zichligi kvadratiga taxminan proporsional bo'ladi.

Agar galaktika sekin aylansa, u holda yulduzlararo gaz og'irlik kuchi ta'sirida markazga yig'iladi. Aftidan, bunday galaktikalarda magnit maydoni tez aylanuvchi galaktikalardagiga nisbatan kuchsiz bo'lib, yulduzlararo gazning siqilishiga kam qarshilik ko'rsatadi. Markaziy oblastlardagi katta zichlik tufayli yulduzlararo gaz yulduzlarga aylanib sarflanib ketadi. Natijada sekin aylanuvchi galaktikalar taxminan markazga tomon yulduzlar zichligi tez o'sib boruvchi sfera ko'rinishini olishlari kerak. Bizga ma'lumki, xuddi shunday xususiyatga elliptik galaktikalar ega. Ularning spiral galaktikalardan farqi ham aylanish tezliklari kichikligidadir. Yuqorida aytilganlardan ma'lum bo'ladiki, nima uchun elliptik galaktikalarda yulduzlararo gaz va yulduzlarning boshlang'ich sinflariga xos yulduzlar kam.

Shunday qilib, galaktikalarning vujudga kelishi taxminan sferik shakldagi gaz buluti bosqichidan boshlanadi. Bu bulut vodorod gazidan iborat bo'lib, u birjinsli bo'lmagan. Gazning alohida bo'laklari harakatlanib, bir-birlari bilan to'qnashishlari natijasida kinetik energiyalarini yo'qotganlar va oqibatda bulutda siqilish jarayoniga olib kelgan. Agar bu bulutning aylanish tezligi katta bo'lsa spiral galaktika, aylanish tezligi kichik bo'lsa undan elliptik galaktika vujudga kelgan.

9.6-§. Kosmologik prinspl va Koinot modellari

Kosmologiya uchun Koinotning etarlicha katta fazo xajmidagi modda o'rtacha zichligining bir xil bo'lishi xaqidagi g'oya ancha qo'l keladi. Moddaning o'rtacha zichligini bir xil deb hisoblash mumkin bo'lgan soha o'lchamlari Metagalaktikadan ancha kichik, lekin bu o'lcham yulduzlar, galaktikalar va ularning to'dalari mavjudligi bilan bog'liq maxalliy (lokal) nojinslilik o'lchamlariga nisbatan ancha katta.

Koinotda modda taqsimotini o'rtacha baholash uchun berilgan ko'rinma yulduz kattaligigacha kattalikka ega bo'lgan galaktikalarning sonini hisoblash orqali amalga oshirsa bo'ladi. Kuzatuvlarga asosan xira galaktikalar uchun munosabat 4 qiymatiga yaqin, undan tashqari, har xil yo'nalishda bu qiymatdan og'ish tasodifiy xarakterga ega. Bundan shu narsa kelib chiqadiki, o'rta hisobda hamma yo'nalishlar bo'yicha galaktikalar bir tekis taqsimlangan.

Kosmologiya nuqtai nazaridan, juda katta masshtablarda modda o'rtacha zichligining bir xilligi Koinotning bir jinslilik va izotropilik xususiyatlaridan kelib chiqadi. Koinotdagi materiya xususiyatlari fazoning hamma erida bir xil bo'lsa u bir jinsli, agar bu xususiyatlar barcha yo'nalishda bir xil bo'lsa izotrop bo'ladi. Boshqacha qilib aytganda, fazoning barcha nuqtalari va yo'nalishlari bir xil axamiyatga ega. Izotroplik xususiyatining mavjudligini kuzatuvda ham tasdiqlash mumkin, qaysiki hamma yo'nalishda galaktikalarning uzoqlashish qonuni bir xil.

Lekin aytish kerakki, yuqoridagi bu xususiyatlar ma'lum bir masshtabdan amalga oshadi, aniqrog'i bu o'lcham bizning davrimizga kelib 50-100 Mpk ga erishdi. Koinotning bir jinsliliigi va izotropiligi haqidagi fikr ko'pincha kosmologik printsip deb ataladi. Oldingi kosmologik tasavvurlar bir jinslilik bilan bir qatorda bizning olamimizning o'zgarmas yoki statistik ekanligi printsipidan keltirib chiqazilgan. Bu xususiyatlarni cheksiz Evklid fazosiga ilk bor tadbiiq qilinishi fotometrik va gravitatsion paradokslarga olib kelgan.

Fotometrik paradoksni birinchi bo'lib Shveysariyalik olim J. Shezo 1744 yili, keyinchalik 1826 yili esa Germaniyalik G. Olberslar yoritib berishgan. Unga asosan, agar cheksiz fazo yulduzlar bilan bir tekis egallangan bo'lsa, u holda ixtiyoriy ko'rish nuri yo'nalishi ertami, kechmi qandaydir yulduz bilan kesishadi. Ob'ektning kuzatilayotgan ravshanligi ungacha bo'lgan masofaga bog'liq bo'lmaganligi uchun butun osmon xuddi quyosh diski kabi bir tekis nur sochadi. Yulduzlararo nurning yutilishi bu paradoksni yo'qqa chiqaza olmaydi, chunki yutilgan nur ertami, kechmi fazoga qayta nurlanadi. Uzoqlashayotgan ob'ektda qizilga siljish xodisasi kuzatilishi tufayli uning yorug'lik energiyasining kamayishini hisobga olsak, fotometrik paradoks xodisasi ro'y bermaydi. Bundan tashqari, kuzatish mumkin bo'lgan fazo hajmi Koinotdagi ko'rish gorizonti bilan chegaralangan va bu xajm chekli bo'ladi. Ko'rish gorizonti ostida shunday sferani ko'z oldimizga keltiramizki, undagi har bir nuqta kuzatuvchidan ma'lum masofada bo'lib, bu masofani nur kengayuvchi Koinotning yuzaga kelish vaqti davomida bosib o'tgan.

Gravitatsion paradoks Germaniyalik olim X. Zeeliger tomonidan 1895 y. bayon etilgan. Uning ta'rifi ko'ra, modda bir tekis taqsimlangan cheksiz Koinotda Nyuton qonunidan foydalanib berilgan nuqtaga ta'sir qilayotgan gravitatsion kuchni bir qiymatli hisoblab bo'lmaydi. Ya'ni masalan, agar bu kuchni shu nuqtadagi massaga ta'sir etuvchi kuchlarning yig'indisi ko'rinishida aniqlasak, qaysiki bu kuchlarni shu nuqta markazli kontsentrik qatlamlar hosil qilayotgan bo'lsa, unda natijaviy kuch nulg'a teng. Agar hisoblashni markazi bu nuqtadan r masofada bo'lgan kontsentrik qatlamlar uchun olib borilsa, unda natijaviy kuch r radiusli shar sirtida joylashgan nuqtani tortayotgan kuchga teng bo'ladi.

Gravitatsion paradoksning yuzaga kelishiga sabab, Evklid fazosida bir onda tarqaluvchi tortishish kuchi haqidagi Nyutonning tortishish nazariyasini cheksiz Koinotga qo'llab bo'lmasligidadir. Shuning uchun, kosmologiyada

Metagalaktikaning katta masshtablari o'rganilayotganda Eynshteyn tomonidan 1916 yili asoslari ishlab chiqilgan nisbiylik umumiy nazariyalaridan (NUN) foydalanish kerak.

Mexanika qonunlari NUN da ancha umumiy ko'rinishda ifodalanadi, Nyuton qonunlari esa kuchsiz gravitatsion maydon chegaraviy holda ulardan hosil qilinadi. Gravitatsion paradoks NUN da bo'lmaydi. Bu nazariyaning yuzaga kelishi kosmologiyani zamonaviy rivojlanish bosqichiga ko'tardi. Asosiy kosmologik tenglamalar Eynshteynning o'zi tomonidan keltirib chiqazilib, ular statistik Koinot xususiy holi uchun echilgan. Keyinchalik 1922 yili Rossiyalik buyuk matematik Fridman tomonidan nisbatan umumiy holda ham echimlar topilgan. Lekin keyinchalik ma'lum bo'ldiki, Nyuton tenglamalari asosida ham qator muhim kosmologik natijalar olish mumkin ekan. Bu imkoniyat katta uslubiy axamiyatga ega, chunki zamonaviy kosmologiya natijalarini to'liq tushunish uchun kerak bo'ladigan NUN matematik apparatiga erushganimizga qadar yuqoridagi imkoniyat orqali biz murakkab kosmologik muammolarga yaqinlashamiz mumkin.

Modellashtirish tabiatning murakkab ob'ektlarini tadqiq etishda muhim usul hisoblanadi. Umuman olganda biz yuqoridagi boblarda bunday usuldan bir necha bor foydalandik, bunda biz real ob'ektni soddalashtirilgan matematik sxema bilan almashtirdik. Bu sxemada ba'zi elementlar ilgari (kuzatuvdan) ma'lum deb, qolganlari nazariy fizika va matematika usullarini qo'llash yordamida topiladi. Bu ishda eng muhim natijalovchi bosqich sifatida nazariy topilgan model xususiyatlarini biz foydalangan nazariyada qilingan chegaralanishlar va taxminlarni hisobga olgan holda real ob'ektga o'tkazish hisoblanadi.

Biz bir jinsli izotrop Koinot modelini qaraymiz, bunda Nyuton qonunlari yordamida jismlarning o'zaro ta'siri kuchlari ifodalanib, bu kuchlar boshqa hech qanday kuchlar bilan to'liq muvozanatda bo'la olmaydi va modda harakatining xarakterini aniqlashda muhim hisoblanadi.

Binobarin Nyuton qonunlarini faqat chekli massalarga qo'llash mumkinligi avvaldan ma'lum, shu sababli bizning model juda katta, lekin Koinotning chekli massali chekli qismiga tegishlidir. Ma'lumki, bunday massa bo'laklari orasidagi o'zaro tortishish kuchi mavjudligi tufayli siqilishi, yoki u shunday kinetik energiya zapasiga egaki, natijada kengayishi kerak. Bu kengayish esa bo'laklar orasidagi tortishish kuchi tufayli vaqt o'tishi bilan tormozlanadi.

Ko'rsatish mumkinki, bir jinsli izotrop Koinotda Xabbl qonuni o'rinli. Aniqlashtirish uchun kengayuvchi Koinot modelini qaraymiz. Fazoda boshlang'ich vaqt bir - biridan r masofada bo'lgan ixtiyoriy ikkita A va B nuqtalar $V = \Delta r / \Delta t$ tezlik bilan o'zaro uzoqlashayotgan bo'lsin. AB masofani r - birlik intervallarga bo'lamiz. Bu intervallardan har biri Δt vaqt davomida bir jinslilik xususiyatiga ko'ra bir hil $\Delta r / r$ qiymatiga oshadi. Shuning uchun birlik intervalning oshish tezligi $\frac{1}{r} \left(\frac{\Delta r}{\Delta t} \right)$ qiymatni tashkil etadi. Bu qiymat

fazoning hamma erda va hamma yo'nalishida bir xil bo'lganligidan va faqat vaqtga bog'liqligidan uni $H(t)$ deb belgilaymiz. Bundan Xabbl qonunini hosil qilamiz:

$$V = \frac{\Delta r}{\Delta t} = r \left(\frac{1}{r} \cdot \frac{\Delta r}{\Delta t} \right) = rH, \quad (9.1)$$

bu erda H - shu kundagi $H(t)$ ning qiymati. Agar $H=0$ bo'lsa, kengayish bo'lmaydi (statistik model). Lekin ma'lumki, bu xolat beqarordir, ya'ni modda massasi boshqa kuchlar bo'lmaganda o'zining xususiy tortishish maydonida kinetik va potentsial energiyalar nisbatining qiymatiga bog'liq holda kengayishi yoki siqilishi kerak.

Endi esa markazi fazoning berilgan nuqtasida bo'lgan ixtiyoriy r - radiusli sferani qaraymiz. Fazoning bir jinslilik va izotroplik xususiyatiga ko'ra, bu sferaning hamma nuqtalari markazdan bir xil tezlik bilan uzoglashadi va uning radiusi vakt o'tishi bilan qandaydir vaqtga bog'liq bo'lgan funktsiyaga proporsional holda kattalashib boradi, ya'ni

$$r(t) = rR(t). \quad (9.2)$$

$R(t)$ funktsiyaga massshtab faktori deyiladi va u koinotning kengayishini xarakterlaydi.

r - radiusli sfera ichidagi massa hamma erda bir xil qiymatga ega bo'lgan zichlik orqali quyidagiga teng:

$$m = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho \quad (9.3)$$

Qaralayotgan soha chegarasida joylashgan birlik massa ega bo'lgan kinetik energiyaga $V^2/2$ ga va potentsial energiya $-\frac{Gm}{r}$ ga teng. Energiyaning saqlanish qonuniga ko'ra ularning yig'indisi o'zgarmasdir:

$$\frac{1}{2} V^2 + \left(-G \frac{m}{r} \right) = E \quad (9.4)$$

Agar to'liq energiya nuldin kata bo'lsa ($E>0$), u holda kengayish tezligi r ning biror qiymatida nul qiymatigacha kamaymaydi. O'zgarmas qiymatli sekinlashish bilan kengayish protsessii cheksiz davom etadi. $R(t)$ massshtab faktori esa hamma vaqt o'sib boradi. Aksincha, $E<0$ holda vaqt o'tishi bilan kengayish tezligi nul qiymatigacha kamayib borib, kengayish protsessi siqilishga o'tadi. $V=0$ bo'lganda massshtab faktori eng kata qiymatga erishadi va shundan keyin u kamayuvchi funktsiya bo'lib qoladi. Bu chegaraviy hollar orasida shunday muhim oraliq holat mavjudki, bunda $E=0$ bo'lib, kengayish

chegaralmagan davom etib, uning tezligi nul qiymatiga intiladi. (4) formuladan ko'rinib turibdiki, bu holda kengayish tezligi parabolik tezlikka mos keladi:

$$V_a = \sqrt{2mG/r} \quad (9.5)$$

Bu formuladagi tezlik o'rniga Xabbl qonunidagi ifodasini va massa o'rniga (3) formulani qo'ysak, quyidagi zichlikka ega bo'lamiz:

$$\rho_a = \frac{3H^2}{8\pi G} \quad (9.6)$$

Ko'rinib turibdiki, bu zichlik r radiusga bog'liq emas. Demak aytish mumkinki, hosil qilingan natija ixtiyoriy katta massshtablar uchun ham o'rinli. $E=0$ holda, ya'ni to'liq energiyaning nulinchi qiymatiga mos keluvchi zichlikka kritik zichlik deb olamiz, chunki bu kritik qiymatdan katta va kichik holiga to'g'ri keluvchi Koinotning o'rtacha zichligida yuqorida qaralgan berk va chegaralmagan kengayuvchi Koinot namoyon bo'ladi.

Agar $H=75 \text{ km/(s-Mpk)}$ deb olsak, Koinotning hozirgi vaqtdagi zichligi uchun kritik qiymat taxminan 10^{-29} g/sm^3 ni tashkil etadi. Metagalaktikadagi ma'lum bo'lgan hamma massalarni hisobga olgan holda topilgan zichlik 10^{-30} g/sm^3 qiymatiga teng bo'lib, u kritik qiymatdan kichik. Lekin bu quyi chegara, chunki galaktikalararo muhit hali uncha aniq emas. Agar bu muhit massasi nisbatan katta bo'lsa, unda ma'lum vaqtdan boshlab Koinotning kengayish protsessi siqilish bilan almashinishi mumkin.

Koinotdagi moddaning o'rtacha zichligini aniqlashda nuldin farqli massaga ega bo'luvchi tinchlikdagi neytrinoni ham hisobga olish kerak bo'ladi. 1980 yillarda olib borilgan eksperimentlarning natijasiga ko'ra tinchlikdagi neytrino massasi 10^{-32} g ekanligi taxmin qilinadi, bu esa elektron massasidan 20 000 marta kichikligini ko'rsatadi, lekin bu qiymatni yanada aniqlashtirish kerak. Koinotda juda ko'p miqdorda neytrino bo'lishi kerak, asosan reliktik, ya'ni uning kengayishining boshlang'ich bosqichidan qolgan. Nazariy hisob-kitoblarga ko'ra bitta protonga o'rta hisobda taxminan milliard neytrino to'g'ri keladi. Shuning uchun agar yuqoridagi baholash to'g'ri bo'lsa, u holda neytrino umumiy massasi oddiy modda massasidan 30 marta katta chiqadi. Shunday qilib, aynan neytrino bizning fazomizning fizik xususiyatlarini aniqlashi haqiqatdan xoli emas.

Endi Xabbl doimiysining fizik ma'nosini qaraymiz. U chastota o'lchamiga ega bo'lib, unga teskari bo'lgan kattalik vaqt o'lchamida va qiymati yilga $t = 4 \cdot 10^{17} \text{ c} = 13 \cdot 10^9$ teng (agar $H=75 \text{ km/(s-Mpk)}$ deb olsak). Kengayish tezligi ilgari o'zgarmagan deb faraz qilinsa, bu vaqt Metagalaktikaning kengayishi natijasida hozirgi holatiga erishishi uchun ketgan davrdir. Kuzatuvlar xatoligi chegarasida bu vaqt oralig'i ko'pgina galaktikalar yoshiga

va Galaktikamizdagi qari yulduzlarning ular spektri va tarkibini o'rganish asosida topilgan yoshlariga mos keladi. Bundan shu narsa kelib chiqadiki, ko'pgina galaktikalar Koinot kengayishining juda boshlang'ich bosqichida paydo bo'lgan va bu birinchi milliard yilda bo'lib, bu vaqtda moddaning o'rtacha zichligi hozirgidan ancha katta bo'lgan.

Shunday qilib, klassik fizika doirasida biz Koinotning qator muhim xossalari aniqlashga erishdik: nostatsionarlik, kengayish va siqilishning mumkin bo'lgan holati, kritik zichlik qiymati, kengayish vaqti (Koinot «yoshi»). Koinotning aniq real xossalari, xususan, hozirda Koinotning kengayish xususiyati kuzatuvda tasdig'ini topishi kerak. Kelajakda qanday nostatsionarlik xususiyati namayon bo'ladi, bu bizga ma'lum emas. Keyinchalik kengayish siqilish jarayoni bilan almashishi mumkinligi haqiqatdan xoli emas. Avvalambor shuni aytish kerakki, oldin Koinotdagi modda ancha zich holatda bo'lgan deb aytish mumkin. Shu narsani alohida hisobga olishimiz kerakki, biz chiqazgan xulosalar klassik maxanikaga asoslangan, shuning uchun ular shunday o'lmamlarda o'rinli, bunda kengayish tezligi yorug'lik tezligidan ancha kichikdir. Bunday chegaralarni qo'ymaslik uchun biz fizikaning yanada aniqroq qonunlaridan, avvalambor, NUN qonunlaridan foydalanishimiz kerak.

Agar kuzatuv ma'lumotlarini olsak undan galaktikalar to'dalari va o'ta to'dalari Metagalaktikada bir xil taqsimlangan va izotropdir. Metagalaktika bu xozirga kunda eng zamonaviy teleskoplar bilan kuzatish mumkin bo'lgan chegaradagi koinot tushuniladi. Hozirgi kunda koinotning 3 ta modeli mavjud:

1.Yopiq koinot modeli.

2.Ochiq koinot modeli.

3.Kengayuvchi koinot modeli.

Birinchi koinot modelini sovet matematigi Fridman.A. bir jinsli va izotrop bo'lgan holda o'rgangan. U bir jinsli izotrop koinot nostatsionar bo'lishini va undan galaktikalar tarqalishini ko'rsatgan. Bu modelga ko'ra ixtiyoriy 2 ta ob'ekt orasidagi masofa t vaqt momentida

$$r(t) = r_0 R(t) \quad (9.7)$$

bo'yicha o'zgaradi. Bu erda r_0 -boshlang'ich vaqt momentidagi ob'ektlar orasidagi masofa.

$R(t)$ -masshtab faktori deyiladi va u koinotning kengayishini xarakterlaydi. Xabll qonuniga ko'ra tezlikning o'zgarishi

$$v(t) = H(t)r(t) \quad (9.8)$$

qonuniyatga bo'ysunadi.

Bu holda koinotning o'rtacha zichligi quyidagi formula bilan aniqlanadi va bu zichlik kritik zichlik deyiladi.

$$\rho = \frac{3H^2}{8\pi G} \quad (9.9)$$

Agar koinotdagi zichlik ρ , kritik zichlikdan kata bo'lsa, ya'ni $\rho > \rho_{kr}$, bu holda koinotning geometrik xususiyatlari sferik geometriya bilan aniqlanadi. Agar koinotning zichligi kritik zichlikka teng bo'lsa $\rho = \rho_{kr}$ u holda koinotning kengayishi cheksiz davom etadi, agar kichkina bo'lsa $\rho < \rho_{kr}$ bu koinotning ochiq modeli deb yuritiladi. Agar Xabll doimiysini $H=50\text{km/sek}\cdot\text{mmp}$ deb olsak

$$\rho_{kr} = 5 \cdot 10^{-30} \text{ gr/sm}^3$$

kelib chiqadi. Metagalaktikadagi yulduzlar soni esa 10^{11} ta. Agar Metagalaktika o'lchamini 600 MPs va undagi ob'ektlar massasini Galaktika massasiga teng deb olsak unda koinot zichligi

$$\rho_{koinot} = 5 \cdot 10^{-31} \text{ gr/sm}^3$$

kelib chiqadi.

Koinot zichligi bilan kritik zichlikni taqqoslash bugungi kundagi koinot kengayayotgan koinot modeliga to'g'ri keladi.

$$\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

Hozirgi kunda nur tezligidan kata tezlik yo'qdir. 220 Pk dan uyog'i kosmologik masofadir.

Koinotning kengayish hodisasi uning portlaganligi $T=0$ sababli deb tushuniladi, chunki koinotdagi barcha Galaktikalar to'dalari bir-birlaridan uzluksiz ravishda uzoqlashib boryaptilar. Fridman echimi aynan kengayuvchi to'g'ri ekanligi Xabll tomonidan isbotlangan.

9.7-§. Relyativistik astrofizika

Ma'lumki, nisbiylik nazariyasining natijalari katta massalar fazo va vaqt (zamon va makon) xossalari o'zgartiradi degan xulosaga olib keladi. Biz biladigan oddiy Evklid fazosidagi xossalar (masalan, uchburchak burchaklarining yig'indisi, parallel chiziqlar xossalari) katta massa yaqinida o'zgaradi, yoki boshqacha qilib aytganda, fazo egrilanadi.

Shunday qilib masalan, quyosh to'liq tutilishi vaqtida uning yaqinidagi yulduz vaziyatini kuzatish natijasida yulduzdan kelayotgan nur quyosh ta'sirida o'z yo'nalaishini taxminan ga o'zgartirishi ma'lum bo'lgan.

Hamma galaktikalar to'dalari massalarining hosil qilgan umumiy gravitatsion ta'siri bir butun fazoning ma'lum bir egrilanishiga olib kelishi mumkin va bunda uning xossalariga ta'sir ko'rsatishi aniq seziladi, binobarin, buning butun Koinot evolyutsiyasiga ham ta'siri bo'ladi. Umuman olganda, Koinotda massalar taqsimoti ixtiyoriy bo'lganda nisbiylik nazariyasi qonunlari asosida fazo va vaqt xossalarini aniqlash juda qiyin masala hisoblanadi.

Zamonaviy relyativistik kosmologiyani A.A.Fridman ishlaridan boshlangan deb aytsa bo'ladi, qaysiki bu ishda bir jinsli izotrop Koinotda modda harakati hisoblanib, shu asosda modda tinch holatda bo'la olmasligi va Koinot nostatsionar holatda, ya'ni u yo kengayishda, yoki siqilish jarayonida bo'lishligi isbotlangan. Binobarin, bunda Koinotdagi o'rtacha zichlik ham vaqt davomida o'zgarib boradi. Relyativistik kosmologiyada Koinotning nostatsionarlik xarakteri aynan yuqoridagi paragrafda biz qaragan «klassik» holdagidek (cheksiz kengayish va siqilish jarayoni bilan almashinuvchi kengayish) aniqlanadi. Relyativistik kosmologiyada topilgan zichlikning kritik qiymati yuqoridagi (6) ifoda bilan umuman olganda, mos tushadi.

Relyativistik nazariyaning negizini fazo egrilanishini aniqlash mumkinligi tashkil etadi. O'rtacha zichlik kritik qiymatga teng bo'lganda kengayish tezligi nulga cheksiz intiladi (sekinlashish), fazoning egrilanishi nulga teng va u Evklid geometriyasiga bo'ysunadi. Boshqa qolgan hollarda fazo geometriyasi Evklid geometriyasi bilan mos tushmaydi. Agar zichlik kritik qiymatdan kichik bo'lsa fazo egrilanishi manfiy, katta holda esa egrilanish musbat bo'ladi. Binobarin, birinchi holda Koinot har doim kengayishda bo'ladi, ikkinchi holda esa ma'lum davrga kelib kengayish jarayoni siqilish bilan almashanadi. Bu ikkinchi holda noevklid geometriyasiga ko'ra fazo chekli bo'lishi kerak, ya'ni u ixtiyoriy vaqt momentida chekli aniq hajmga, chekli massaga hamda galaktikalar to'dalarining chekli soniga ega bo'lishi kerak va h.k. Ammo, Koinot chegarasi albatta yo'q.

Bunday uch o'lchovli fazoning ikki o'lchovli modeli sifatida kengayayotgan sfera sirtini olish mumkin. Bunday modelda galaktikalar unda chizilgan yassi shakllar ko'rinishida ifodalanadi. Sfera sirtining cho'zilishi natijasida uning yuzasi va hamma shakllar orasidagi masofalar kattalashadi. Aslida umuman olganda bunday sfera cheksiz kattalashishi mumkin, uning sirti yuzasi har bir vaqt momentida chekli bo'ladi, shu bilan birga bu ikki o'lchovli fazoda (sirtida) chegara yo'q.

9.8-§. Koinot vujudga kelishi va evolyutsiya bosqichlari

1965 yilda kosmologiya uchun juda muhim kashfiyot qilindi. Bu kashfiyot Koinotning izotropligi va bir jinsliliigi haqidagi taxminni tasdiqladi. Erning sun'iy yo'ldoshini kuzatish maqsadida radioasbobni sozlash vaqtida tasodifan kuchsiz fonli radionurlanish qabul qilingan va bu nurlanish hamma yo'nalishda bir xil intensivlikka ega bo'lgan. Zamonaviy kuzatuvlarga asosan protsentning bir qancha o'nlik ulushlari aniqligida bu nurlanish izotropdir (ya'ni uning temperaturasi yo'nalishga bog'liq emas). Bu nurlanish spektrida energiya taqsimoti bo'yicha issiqlik nurlanishi bo'lib, u taxminan 3 K ga mos keladi. Bunday temperaturada nurlanish maksimumi spektrning taxminan 1 mm diapazoniga to'g'ri keladi. Hozirgi vaqtda Koinotda shu qadar yuqori izotrop darajasiga va Plank spektriga ega bo'lgan hamda spektrning millimetr diapazonida nurlanuvchi ob'ektlar ma'lum emas. Shu asosda 3K temperaturali bu nurlanishni Koinotda modda zichligi juda katta bo'lgan va muhit o'ta xira vaqtda nurlangan hamda shu paytgacha saqlanib qolgan nurlanishga o'xshatilgan. Kengayish jarayonida vaqt o'tishi bilan modda sovigan va u ionlashgan holdan neytral fazasiga o'tib shaffof holga kelgan. Nurlanish esa moddadan «ajralganidan» so'ng qayta yutilmay shu vaqtgacha saqlanib qolgan.

Hisob-kitoblar shuni ko'rsatadiki, moddaning shaffoflanish jarayoni boshlanganda Koinotdagi modda zichligi 10^{-20} g/sm^3 (atomlarning o'rtacha kontsentratsiyasi 10^4 sm^{-3}) bo'lgan, ya'ni hozirgisidan milliard marta katta bo'lgan. Madomiki, zichlik masofa kubiga teskari proporsional ekan, demak, Koinotning kengayishini agar xuddi hozirgidagidek desak, u holda muhit xira bo'lgan davrda Koinotdagi hamma masofalar taxminan 1000 marta kichik bo'lgan. Xuddi shuncha marta to'liq uzunlik ham kichik bo'lgan. Shuning uchun hozir vaqtda 1 mm to'liq uzunlikka ega bo'lgan kvantlar ilgari 1 mkm to'liq uzunligiga ega bo'lgan, qaysiki nurlanish maksimumi Plank qonuni bo'yicha 3000-4000 K temperaturaga to'g'ri keluvchi nurlanishga mos kelgan.

Shunday qilib, relyativistik nurlanishning mavjudligi nafaqat ilgari Koinotdagi zichlik katta bo'lganligini, bundan tashqari uning temperaturasi ham yuqori bo'lganligini (Koinotning «qaynoq» modeli) ko'rsatadi.

Koinot bundan ham zichroq va uning temperaturasi yanada yuqori bo'lganligini umuman olganda xuddi yuqoridagi nurlanishga o'xshash reliktivistik neytronlar nurlanishi orqali munozara qilsa bo'ladi. Buning uchun Koinotning xiraligi $\rho \geq 10^7 \text{ g/sm}^3$ uning zichligi bo'lgandagiga mos keladi, lekin bunday zichlik Koinot kengayishining juda boshlang'ich bosqichlarida bo'lishi mumkin. qachonki zichlik bu qiymatdan kichiklashishi bilan neytrinolar bilan ham xuddi reliktivistik nurlanish kabi hol ro'y bergan, ya'ni neytronlardan chiqqan nurlanish qolgan moddalar bilan ta'sirlashmay kengayish jarayoni ketayotgani uchun faqat kosmologik qizilga siljishni boshlaridan o'tkazganlar. Baxtga qarshi, bunday neytrinolarni yaqin orada qayd qilishning imkoni juda qiyin, chunki hozirgi vaqtda ular hammasi bo'lib

elektron-voltning bir necha o'n ming ulushiga teng energiyaga ega bo'lishlari kerak.

Shunday qilib, bundan 10 milliard yil ilgari Koinot juda zich va qaynoq holatda bo'lgan. Umuman olganda, zichlik va temperaturaning o'zgarish qonunini vaqt bo'yicha orqaga davom ettirib borib shunday vaqtni ko'rsatish mumkinki, bunda kengayish qandaydir alohida o'ta zich holatdan boshlanganligini ko'rsatish mumkin va bu holatni singulyar holat deb atash qabul qilingan. Bu kengayish jarayoni boshini Katta portlash deb nomlangan. Bosim va zichlik bu vaqtda rasmiy holda cheksizlikka intiladi. Bu shu narsani bildiradiki, modda holati singulyarlikka yaqin vaqtida fizikada hali noma'lum bo'lgan qonunlar asosida bo'ladi. Zichlik 10^{33} g/sm^3 qiymatidan oshganda hattoki Eynshteyning tortishish relyativistik nazariyasini ham u kvant effektlarini hisobga olmaganligi sababli qo'llab bo'lmaydi. Plank davri deb ataluvchi bu asrda gravitatsion maydonning kvantlari - gravitonlar yuzaga kelishi kerak.

Lekin taxminan kengayish boshlanganidan 10^{-43} sekund keyingi holatga NUN qo'llash mumkin bo'ladi. Bizning olam evolyutsiyasining juda boshlang'ich bosqichi uchun tuzilgan kengayuvchi bir jinsli izotrop qaynoq Koinot modelidan kelib chiquvchi, lekin taxminiy va hali uncha to'liq tekshirilmagan xulosalarni ma'lum birlarini keltiramiz:

Aslida Koinotning o'ta zich holati uncha ko'p vaqt davom etmasligi kerak, lekin u keyingi evolyutsiya davomida katta ahamiyatga ega bo'lgan davr hisoblanadi. Eng ahamiyatlisi shundaki, modda temperaturasi va zichligining katta qiymatlarida zarracha va kvant nurlanishlari orasida o'zaro o'tishlarning aktiv jarayoni boshlangan. Birinchi vaqt onlarida zarrachalar va ularning antizarrachalari teng miqdorda tug'ilib turgan. Bu jarayon analogiyasi sifatida ikki kuchli gamma-kvantlarining to'qnashishi natijasida yuzaga kelgan elektron-pozitron juftligini ko'rsatish mumkin:

$$\gamma + \gamma \leftrightarrow e^+ + e^-.$$

Bu reaksiya teskari yo'nalishda ham, ya'ni elektron va pozitron annigilyatsiya jarayoni tufayli ikkita γ - kvanti hosil bo'lishi mumkinligidan strelka chapga ham ko'rsatilgan. Muvozanat sharoitlarida to'g'ri va teskari jarayonlar hamma vaqt bir xil miqdorda ro'y beradi.

Tinch holatdagi massasi m bo'lgan zarracha yuzaga kelishi uchun kvant energiyasi mc^2 qiymatidan kichik bo'lmasligi kerak, shuning uchun elektron-pozitron juftligi uchun kamida 1000 keV energiya talab qilinadi, yoki temperatura $T > 10^{10}$ K bo'lishi kerak. Temperatura va unga mos holda kvant energiyasi qancha katta bo'lsa, o'zaro ta'sir natijasida shuncha katta massali zarracha yuzaga kelishi mumkin. Koinot evolyutsiyasining juda boshlang'ich bosqichlarida xaddan tashqari qisqa yashovchi va juda massiv gipotetik zarrachalar yuzaga kelishi mumkin bo'lgan. Zichlik va temperaturaning

kamayishi bilan nisbatan kichik massali zarrachalar paydo bo'la boshlagan hamda bu vaqtda massivroq zarrachalar esa parchalanish va annigilyatsiya hisobiga qandaydir «yo'qolib» borgan.

Muhimi shundaki, zarrachalarning va ularga mos antizarrachalarning «yo'qolib» borishi aynan bir xil kechmagan, ya'ni antizarrachalarning hammasi umuman olganda yo'qolib ketgan, proton va neytronlarning (nuklonlarning) judayam kam ulushi esa qolgan. Natijada kuzatilayotgan olam antimoddadan emas, balki moddadan qurilgan, aslida umuman olganda Koinotning qaeiridadur antimoddadan iborat soha bo'lishi haqiqatdan holi emas. Har ehtimolga qarshi, zarracha va antizarrachalarning asimmetriya xossasi bo'lmaganida, olam umuman yolg'on moddadan iborat bo'lib qolardi.

Nuklonlarning hosil bo'lishi bilan Koinot evolyutsiyasining adronlar (adronlar bu - kuchli o'zarota'sirlashuvchi zarrachalar: protonlar, neytronlar, mezonlar va boshqalar) asri tugaydi. Adron asridan keyin leptonlar erasi boshlanadi. Bunda muhit musbat va manfiy myuonlar, neytrino va antineytrino, pozitron va elektronlardan tashkil topgan bo'ladi. Nuklonlar nisbatan kam bo'ladi. Koinotning keyingi kengayishi davomida myuonlar, shu bilan bir qatorda elektron va pozitronlarning annigilyatsiya jarayoni ro'yo bera boshlaydi. Keyinchalik modda bilan neytrinoning o'zaro ta'sirlashuvi tugaydi va yuqorida qayd qilgan singulyarlikdan 0,2 sekund keyingi momentda neytrino «ajralishi» jarayoni ro'y beradi. Hozirgi kunga kelib bu relikтик neytrinolarning issiqlik energiyasi kamaygan va u taxminan 2K temperaturaga mos bo'lib qolgan.

Singulyarlikdan keyin taxminan 10 sekund o'tgach temperatura 10^{10} K atrofidagi qiymatga erishadi va nurlanish asri boshlanadi. Bu davrda modda bilan hali kuchli o'zaro ta'sirlashuvchi fotonlar, shu bilan birga moddadan «ajralib chiqqan» neytrinolar mavjud bo'ladi. Katta portlashdan 100 sekund keyin birinchi nukleosintez jarayoni boshlanadi. Eng assosiysi shundaki, protonlarning ma'lum bir qismi neytronlar bilan birlashishga ulgurib geliy yadrosini hosil qiladi. Bunga umumiy protonlar sonining taxminan 10% ketadi. Nurlanish asri plazmaning ion holatidan neytral holatga o'tishi bilan tugallanadi. Bu esa modda xiraligi darajasining kamayishi va nurlanishning «ajralishi» bilan birga ro'y beradi. Kengayish jarayoni boshlanganidan keyin million yil o'tgach moda asri boshlanadi va bunda qaynoq vodorod-geliy plazmasi va boshqa yadrolarning juda kam ulushidan bizning olamning hamma mavjud ko'p ko'rinishlari rivojlana boshlagan.

Koinot kengayishining bu bosqichlarini qarayatgan vaqtimizda quyidagi muhim savol yuzaga keladi: - Qanday qilib nobirjinslilik yuzaga kelgan, qaysiki buning natijasida Koinotning butun tashkiliy shakllari (galaktikalar, galaktikalar to'dalari va boshqalar) paydo bo'lgan?

Taxmin qilinadiki, bu nobirjinsliliklar kichgina fluktuatsiyalar ko'rinishida tug'ulib, keyinchalik esa ular Koinotdagi ionlashgan gaz neytrallasha boshlagandan, ya'ni moddadan nurlanish «ajralib» relikтик bo'lganda kuchaya borgan. Bunday kuchayish sezilarli fluktuatsiyalarning

yuzaga kelishiga olib kelishi mumkin, qaysiki buning natijasida galaktikalar shakllana boshlagan.

Koinotning ancha kattaroq tuzilmalari shakllanishida neytrinolar sezilarli rol o'ynagan bo'lishlari mumkin bo'ladi, agarda faqat haqiqatan ularning tinchlikdagi massasi nuldin farqli bo'lsa. Neytrinolarning harakat tezliklari taxminan yorug'lik tezligi teng bo'lganligi uchun ularning ixtiyoriy fluktuatsiyasi juda tez so'rilib ketgan. Ammo kengayish boshlangandan keyin bir qancha yuz yil o'tgach massaga ega bo'lgan neytrinolar tezligi yorug'lik tezligidan sezilarli kichik bo'la boshlagan bo'lishi kerak. Shuning uchun qandaydir momentdan boshlab neytrinolarning yirik quyuqlashmalari endi so'rilmagan Koinotdagi galaktikalar to'dalari va galaktikalar o'ta to'dalari kabi katta tuzilmalari yuzaga kela boshlashiga imkon bergan. Bunda galaktikalarning o'zlari oddiy holdagi moddadan shakllanadi, agar neytrinolar sezilarli massaga ega bo'lsalar unda ular massalarning gigant quyuqlashishlari uchun tortishish markazi roli vazifasini barjara boshlab, shu tariqa galaktikalar to'dasining ko'rinmas massa manbaiga aylanadilar.

9.9-§. Koinot modeli va tuzilishi

Koinotni bir butun deb qaralgandagi tuzilishi va evolyusiyasini o'rganadigan fan kosmologiya deyiladi. Kosmologiya o'rganadigan masalalar ichida eng muhimlari - fazo va vaqtning geometrik strukturasi, evolyusiyasi, uning turli ob'ektlarining, ayniksa galaktikalar va ularning to'dalarining tashkil topishi va rivojlanishi masalalaridir.

Koinotni bir butun ob'ekt sifatida xarakterlash uchun, zamonaviy metodlar yordamida uning Metagalaktika deb nom olgan qismigina kuzatilishini hisobga olish zarur bo'ladi.

Ma'lumki, nisbiylik nazariyasiga ko'ra, katta massali ob'ektlarning mavjudligi fazo va Vaqtning xossalari ta'sir etadi. Evklid geometriyasi xarakterlaydigan bizga tanish fazo, yirik masala jismlar atrofida o'zgarib "egiladi". Xususan yorug'lik nuri Quyosh yaqinidan o'tayotib egiladi va o'z yo'nalishini o'zgartiradi. Bu effekt Quyosh to'la tutilganda, uning yonidan ko'rinadigan yulduzlar nurining yo'nalishini o'rganish bilan tasdiqlandi. Bu juda kichik mikdorni tashkil etib, u o'lchash aniqligi chegarasida kuzatildi.

Biroq, barcha galaktikalar va utagalaktikalar massalarining ta'siri fazoda aniq kattalikdagi egrilikni vujudga keltirib, uning xossalari binobarin, butun Koinot evolyusiyasiga sezilarli ta'sir qiladi.

Koinot bo'ylab massaning ixtiyoriy taqsimlanishida nisbiylik nazariyasi asosida fazo va Vaqtning xossalari aniqlash masalasining kuyilishi juda murakkab masalalardan biri bo'lib uning esimini topish mushkul. Shuning uchun mazkur masalaning kuyilishidan oldin Koinot tuzilishining ma'lum

sxemasini qabul qilinadi. Koinotning modeli deb yuritiluvchi bunday sxemalarning eng soddasi quyidagi holatlarga asoslanadi:

-Koinotda, katta masshtablarda, modda bir tekis taqsimlangan;

-fazoning xossalari hamma yo'nalishlarda bir xil (izotrop);

Bunday fazo ma'lum egrilikka ega bo'lib, unga mos model Koinotni bir jinsli izotrop modeli deyiladi.

Koinotning bir jinsli izotrop modeli uchun Eynshteynning tortishish nazariyasiga oid tenglamalarning echimiga ko'ra ayrim bir jinsli bo'lmagan qismlari orasidagi masofa ularning individual xotik harakatlarini e'tiborga olmaganda o'zgarimas saklanib kolaolmaydi. Bu Koinot yoki siqilishi yoki kuzatishlardan ma'lum bo'lgani kabi kengaymogi lozim degani bo'ladi.

Darvoqe, ixtiyoriy ikki galaktikaning bir-biridan uzoqlashish tezligi ular orasidagi masofaning ortishi bilan ortib boradi. Nisbatan kichik masofalarda, bu bog'lanish chiziqli bo'lib proporsionallik koeffitsenti sifatida Xabbl doimiysi xizmat qiladi. Aytilganlardan ma'lum bo'lishicha, ixtiyoriy ikki jism orasidagi masofa Vaqtning funksiyasidir. Bunday funksiyaning ko'rinishi, fazo egriligining ishorasiga bog'liq bo'ladi. Agar egrilik manfiy bo'lsa, Koinot doimo kengayishni "boshidan kechiradi". Evklid fazosiga mos nulinchi egrilikda Koinotning kengayish sekinlashish bilan davom etib, kengayish tezligi nolga intiladi. Va nihoyat, musbat egrilikka ega kengayuvchi Koinot ma'lum boskichda siqilish bilan almashishi mumkin. Bir jinsli izotrop modelda, fazoning egriligi moddaning o'rtacha zichligining miqdoriga bog'liq bo'ladi. Ikkinchi hol (nulinchi egrilik) zichlikning kritik zichlikka teng mikdorida ro'y beradi.

Kengayish jarayonida egrilikning absolyut qiymatda o'zgarishi mumkin, biroq bunda uning ishorasi o'zgarimas qoladi.

Koinotning kritik zichligi Xabbl doimiysi N va gravitatsion doimiylik orqali quyidagicha topiladi:

$$\rho_{kr} = \frac{3H^2}{8\pi G};$$

Bu erda $N=55\text{km/sMps}$ deb olsak, kritik zichlik teng $\rho_{kr}=5,0 \cdot 10^{-30} \text{ g/sm}^3$

Galaktikada mavjud barcha ob'ektlarning massalarini inobatga olganda, o'rtacha zichlikning qiymati taxminan $5 \cdot 10^{-31} \text{ g/sm}^3$ ni tashkil etadi.

Bu yerda galaktikalar orasidagi ko'rinmas muhitning massasi hisobga olinmagani tufayli zichlikning aniqlangan bu qiymati asosida real fazo egriligining ishorasi haqida aniq bir narsa deyish qiyin.

Shuningdek, Koinotning yanada real modelini (empirik yo'l bilan tanlash imkoniyatlari mavjud bo'lib, juda uzoqdagi (nurlari bir necha yuz million yohud milliard yillarda etib keladigan) ob'ektlarning qizilga siljishlarini

aniqlash va bu tezliklarini, boshqa metodlar yordamida aniqlangan ulargacha masofalar bilan solishtirish asosida amalga oshiriladi. Aynan shu usul yordamida Koinotning kengayish tezligini Vaqt bo'yicha o'zgarishi kuzatishlardan aniqlash mumkin bo'ladi. Biroq hozirgi zamon kuzatishlari, fazo egriligining ishorasi haqida ishonch bilan biror narsa deydigan darajada aniqlikka ega emas. Faqat Koinot fazosi egriligi nulg'a yaqinligini ishonch bilan aytish mumkin.

Bu o'rinda Xabbl doimiysining, bir jinsli izotrop Koinot uchun ajoyib xususiyati borligini eslatish o'rinli. Uni anglash uchun, bu doimiylikka teskari kattalik ($1/H$) vaqt bilan o'lanishini, ya'ni $1/H = 6 \cdot 10^{17}$ s yoki taxminan 20 mlrd yilga yaqin ekaniga e'tibor qarataylik. Bu, metagalaktikaning to hozirgi holatiga kadar kengayishi uchun ketgan vaqtni ifodalashini (agar kadimda kengayish tezligi o'zgarmagan deb qaralsa) tushunish qiyin emas. Biroq, shuni ta'kidlash joizki kengayish tezligining, uzoq o'tmishda va hozir, o'zgarmasligini olimlar tomonidan yaxshi o'rganilmagan. Koinot haqiqatan ham bir Vaqtlar alohida bir holatda (fizik parametrlariga ko'ra) bo'lganligi, 1965 yilda relikt (qoldiq) nurlanish deb ataluvchi kosmik radionurlanishning ochilishi bilan tasdiqlanadi. Uning spektri issiqlik nurlanishi spektriga mos kelib, Plank egriligini beradi. Bu egrilik asosida aniqlangan temperatura esa 3 K ga mos keladi (bu nurlanishning maksimumi 1 mm ga to'g'ri keladi). Relikt nurlarining xarakterli xususiyati shundaki, u barcha yo'nalishlar bo'yicha bir xil intensivlikka, ya'ni izotrop hossaga ega. Shu tufayli bu nurlanishni alohida bir ob'ekt yoki sohaning nurlanishi deb qarab bo'lmaydi.

Bunday radionurlanishni "qoldik nurlanish" deb atalishining boisi, u - Koinotning katta zichlikka ega bo'lgan (boshqacha aytganda o'z nurlanishlar uchun ham tinikmas) davriga kelib tegishli nurlanishining koldigi deb taxmin qilinishidandir.

Hisob-kitoblar u davrda Koinotning zichligi $\rho = 10^{-20}$ g/sm³ ekanligini (xar kub santimetriga 1000 ta atom to'g'ri kelganini) ma'lum qiladi. Boshqacha aytganda zichlik, hozirgi davrdagidan milliard martadan ziyod bo'lganini ko'rsatadi. Zichlik radiusining kubiga proporsionalligidan, kadimda Koinotning kengayishi hozirdagidan ming martaga kam bo'lganligi ma'lum bo'ladi. Nurlanishning to'lqin uzunligi λ ham shuncha marta kam bo'lganidan to'lqin uzunligi u davrda 1 mikron astrofida bo'lib, unga mos temperatura 3000 K ga yaqin bo'lgan.

Shunday qilib relikt nurlanishning mavjudo'ldigi kadimda Koinot faqat katta zichlikkagina emas yuqori temperaturaga ham ega bo'lganidan darak beradi.

Yuqoridagi muloxazalardan ko'rinishicha kosmologiyada hali ko'p muammolar hal qilinishi zarurligiga qaramay u Koinotning tuzilishi va rivojlanishiga umulashgan qonunlar haqida tasavvurlar tegishli beraoladi.

Shuningdek astronomiyaning bu bo'limi misolida to'g'ri ilmiy dunyokarashni shakllantirishda qanchalik buyuk axamiyat kasb etishini o'z-o'zidan ko'rinish turibdi. Koinotning bu xil umumiy qonunlarini o'rganish

orqali biz materiya, fazo va Vaqt xossalarini yanada chuqurrok anglaymiz. Bu muammolarning Koinot masshtabida o'rganilishi faqat fizika yoki astronomiya fanlariuchungina emas, balki modiy dunyoning qonunlarini umumlashtirish yo'lida falsafa fani uchun ham juda muhim hisoblanadi.

I L O V A

Astronomik doimiylar

Yerning ekvatorial radiusi.....	6378,16 km
Yerning qutbiy radiusi.....	6356,78 km
Yer hajmiga teng shar radiusi.....	6371,03 km
Yulduz sutkasining uzunligi.....	$23^{\text{h}} 56^{\text{m}} 4^{\text{s}}, 091$ o'rtacha quyosh vaqti
O'rtacha quyosh sutkasining uzunligi.....	$24^{\text{h}} 03^{\text{m}} 56^{\text{s}}$ 555 yulduz vaqti

Yilning uzunligi (o'rtacha vaqt bilan):

tropik yil $365^{\text{d}}, 2422 = 365^{\text{d}} 5^{\text{h}} 48^{\text{m}} 46^{\text{s}}$
yulduz yili $365^{\text{d}}, 2564 = 365^{\text{d}} 6^{\text{h}} 9^{\text{m}} 10^{\text{s}}$

Oyning uzunligi (o'rtacha vaqt bilan):

sinodik oy $29^{\text{d}}, 5306 = 29^{\text{d}} 12^{\text{h}} 44^{\text{m}} 3^{\text{s}}$
yulduz oyi $27^{\text{d}}, 3217 = 27^{\text{d}} 7^{\text{h}} 43^{\text{m}} 12^{\text{s}}$
ajdahoy oyi $27^{\text{d}}, 2122 = 27^{\text{d}} 5^{\text{h}} 5^{\text{m}} 36^{\text{s}}$

Quyosh haqida malumotlar

Quyosh parallaksi.....	$8''$
Quyoshgacha bo'lgan o'rtacha masofa.....	149600000 km
Diametri.....	$D_{\odot} = 109, 12 D_{\text{Y}} = 1392000 \text{ km}$
Yuzi.....	$S_{\odot} = 11930 S_{\text{Y}} = 608,7 \cdot 10^{10} \text{ km}^2$
Hajmi.....	$V_{\odot} 1303800 V_{\text{Y}} 1,412 \cdot 10^{33} \cdot \text{sm}^3 = 1,4 \cdot 10^{18} \text{ km}^3$
Massasi.....	$M_{\odot} = 332958 M_{\text{Y}} = 1,99 \cdot 10^3 \text{ kg}$
O'rtacha zichligi.....	$\rho_{\odot} = 0,255 \rho_{\text{Y}} = 1,410 \text{ g/sm}^3$
Quyosh sirtida erkin tushish tezlanishi.....	$G_{\odot} = 2,738 \cdot 10^4 \text{ sm/s}^2$
Quyosh sirtida parabolik (kritik) tezlik.....	$v_{\text{par}} = 617,7 \text{ km/s}$
Quyosh ekvatoridagi nuqtaning sinodik aylanish davri.....	$27^{\text{d}}, 275$
Quyosh ekvatorining ekliptikaga og'maligi.....	$7^{\circ} 15' 00''$
Quyosh doimiysining o'rtacha qiymati.....	$1,388 \cdot 10^6 \text{ erg/s} \cdot \text{sm}^2$
Vaqt birligi ichida ajraladigan umumiy nurlanish energiyasi ...	$3,88 \cdot 10^{33} \text{ erg/s}$
Quyosh harakatining apeksi.....	$a = 18^{\text{h}} 00^{\text{m}}, \delta = +30^{\circ}$
Galaktika markazi atrofida Quyoshning tezligi.....	240 km/s
Galaktika markazi atrofida Quyoshning aylanish davri.....	200 mln yil

Yer haqida ma'lumotlar

Mas sas i.....	$M_{\text{Y}} = 5,98 \cdot 10^{27} \text{ g}$
Ekvatorial radiusi.....	6378,160 km
Yer aylanishining burchak tezligi.....	$15'', 041 \text{ s}^{-1}$
Ekvatoridagi nuqtaning chiziqli tezligi.....	465,119 m/s
Yer geografik kenglamaga ega bo'lgan yer sirtidagi nuqtaning chiziqli tezligi.....	$465,119 \cos \alpha \text{ m/s}$

Orbitadagi eng katta tezligi (perigeiivda).....	30,27 km/s
Orbitadagi minimal tezligi (afeliyda).....	29,27 km/s
Quyoshga tomon Yerning tezlanishi.....	0,59 sm/s
Yerda erkin tushish tezlanishi.....	980,665 sm/s
Yer o'qining ekliptika o'qi atrofida aylanish (pretessiya hodisasi tufayli) davri.....	25725 yil
Shimoliy geomagnit qutbining koordinatalari.....	$\gamma = 78,6; \gamma = 70^{\circ}, I$
Geomagnit qutblarda kuchlanganligining kattaligi.....	0,63 E

Oy haqida ma'lumotlar

Oyning o'rtacha sutkalik parallaksi.....	$57' 2'', 61$
Yerdan o'rtacha uzoqligi.....	384400 km
Ko'rinma eng katta burchak diametri.....	$33' 32''$
Ko'rinma eng kichik burchak diametri.....	$29' 20''$
Diametri.....	3476 km = $0,27234 d_{\text{Y ekv}}$
Hajmi.....	$2195,3 \cdot 10^3 \text{ km}^3 = 0,020266 V_{\text{Y}}$
Yuz i.....	$3,791 \cdot 10^7 \text{ km}^2 = 0,0743 S_{\text{Y}}$
Massasi.....	$7,35 \cdot 10^{25} \text{ g} = 0,012300 m_{\text{Y}}$
O'rtacha zichligi.....	$3,350 \text{ g/sm}^3 = 0,607 \rho_{\text{Y}}$
Oy sirtida erkin tushish tezlanishi.....	$1,623 \text{ m/s}^2$
Kritik tezlik.....	2,38 km/s
Oy orbitasi tekisligining ekliptikaga og'maligi.....	$5^{\circ} 8' 43'', 4$
Oy ekvatori tekisligining ekliptika tekisligiga o'rtacha og'maligi (og'ish burchagi $6^{\circ} 31$ dan $6^{\circ} 51$ ga qadar o'zgaradi).....	$6^{\circ} 40', 7$
Yerdan qaraganda Oy yuzasining ko'rinmaydigan qismi.....	0,410
O'rtacha ko'rinma burchak tezligi.....	$12^{\circ}, 15$
Orbita bo'ylab o'rtacha tezligi.....	1,023 km/s
Yer ta'sirida olgan tezlanishi.....	$0,272 \text{ sm/s}^2$
Oyning aylanish davriga teng siderik davri.....	$27^{\text{d}} 7^{\text{h}} 43^{\text{m}} 11^{\text{s}}, 47$
Sinodik davri (Quyoshga nisbatan to'la aylanish davri).....	$29^{\text{d}} 12^{\text{h}} 44^{\text{m}} 2,78^{\text{s}}$
Oyda tush paytida temperatura.....	$+120^{\circ} \text{C}$
Oyda yarim kechada temperatura.....	-150°C

GLOSSARIY

Osmon jismlari – Koinotda (kosmosda) harakat qilayotgan barcha jismlar: chandan to galaktikalargacha.

Yulduz turkumi – yulduzlar guruhini birlashtiruvchi osmon sferasining ma'lum bir qismi.

Andromeda – yunonchadan Ἀνδρομέδης so'zidan olingan, yulduz turkumi nomi.

Aldebaran – Buzoq yulduz turkumidagi eng yorug' yulduz.

Vega – Lira yulduz turkumidagi eng yorug' zyulduz, samoda 5-o'rinda turadi.

Geosentrik sistema (Ptolomey sistemasi) – markazida Yer turuvchi sistema, barcha jismlar uning atrofida aylanadi.

Quyosh sistemasi – Quyosh va uning atrofida aylanuvchi barcha jismlar.

Ko'rinma harakat – Yerning sutkalik aylanishi va o'z orbitasi bo'ylab harakati natijasida sodir bo'luvchi hodisa.

Zodiak – yunoncha “zoo” (hayvon) so'zidan kelib chiqib, Quyosh va Oyning yillik ko'rinma harakatlari sodir bo'ladigan osmondagi sohasi.

Burj nuri – ekliptika bo'ylab cho'zilgan xira nur. Osmonning Quyosh botgan (yoki chiqqan) qismida astronomik kun botishdan so'ng (yoki oldin) ushbu nur aniq ko'rinadi. U Quyosh nurining sayyoralararo changdan o'tib sochilishi natijasida yuzaga keladi.

Ko'rinma yulduziy kattalik – (ayrim holda uni sodda qilib “yulduziy kattalik” deyishadi) kuzatuvchi bevosita kuzatgan holda, yoritkichdan undan kelayotgan yorug'lik oqimini aniqlab, qayd etuvchi kattaliqdir. Tabiiyki, yulduzning kuzatilayotgan ravshanligi uning real quvvatiga hamda ungacha bo'lgan masofaga bog'liq bo'ladi.

Tutilish – uchta osmon jismi deyarli bitta to'g'ri chiziqda joylashgan hol. Bunda jismlarning birida kuzatuvchi joylashib, qolgan ikkita jism biri-biriga proektsiyalanishini, ya'ni, bittasi ikkinchisi tomonidan to'silishini yoki bittasining (Yerning ham) soyasi ikkinchisiga tushishini kuzatishi mumkin. Ulardan Quyosh va Oy tutilishlari ma'lumdir.

Tropik yil – Quyosh gardishi markazini bahorgi tengkunlik nuqtasidan ikki marotaba ketma – ket o'tishiga ketgan vaqt oralig'i. U 365,2422 o'rtacha Quyosh sutkasiga sutkasiga teng

Gorizont – kuzatuvchi turgan tekislik hisoblanib, u “ko'rinma” (shu tekislikni osmon bilan kesishgan qismi) va “matematik” (osmon sferasida joylashgan, shimol – g'arb – janub – sharq nuqtalaridan o'tuvchi katta aylana) gorizont turlariga bo'linadi.

Zenit – kuzatuvchiga nisbatan tepada va vertikalning osmon meridian bilan kesishgan niqta.

Zenit masofa – berilgan yoritgich va kuzatuvchi zenitiga bo'lgan yo'nalishlar orasidagi burchak.

Balandlik aylanasi – zenith va berilgan yoritgichdan o'tadigan osmon sferasidagi katta aylana.

Og'ish aylanasi – olam qutbi va berilgan yoritgichdan o'tadigan osmon sferasidagi katta aylana.

Kulminatsiya – Yerning sutkalik aylanishi sababli yoritkichning osmon meridianini kesib o'tish hodisasi.

Nadir – kuzatuvchidan vertikal o'q bo'ylab pastda joylashgan, zenitga qarama-qarshi yo'nalishdagi osmon sferasining nuqtasi.

Osmon meridiani (lot. meridianus) – kuzatuvchining zeniti va olam qutblarining janubiy va shimoliy nuqtalari orqali o'tuvchi osmon sferasining katta doirasi. U gorizont bilan shimol va janub nuqtalarda kesishadi. Uni maxsus ravishda osmon meridiani deb atashadi.

Osmon ekvatori – olamning shimoliy va janubiy qutblaridan teng masofada yotuvchi, Yer ekvatori tekisligiga parallel o'tuvchi osmon sferasining katta doirasi.

Olam o'qi – Yerning aylanish o'qiga parallel bo'lgan va osmon sferasining markazidan o'tuvchi to'g'ri chiziq. Olam o'qi atrofida osmon yoritkichlarining sutkalik aylanishi sodir bo'ladi

Olam qutblari (shimoliy va janubiy) – Yerning aylanish o'qiga parallel bo'lgan kuzatuvchi ko'zi orqali o'tuvchi olam o'qini osmon sferasi bilan kesishish nuqtalari.

Soat doirasi – olamning shimoliy va janubiy qutblari orqali o'tuvchi osmon sferasining katta aylanasi.

Yoritkichlarning chiqishi va botishi – yoritkichlarning matematik gorizontni kesib o'tish hodisasi.

Gorizont – kuzatuvchi turgan tekislik hisoblanib, u “ko'rinma” (shu tekislikni osmon bilan kesishgan qismi) va “matematik” (osmon sferasida joylashgan, shimol – g'arb – janub – sharq nuqtalaridan o'tuvchi katta aylana)

gorizont turlariga bo'linadi. Ko'rinma gorizont quriqlikda matematik gorizontdan goh baland goh past bo'la oladi.

Kulminatsiya – yoritkichning osmon meridianini kesib o'tish hodisasi.

Yuqori kulminatsiya – yoritkichning osmon meridianini zenith nuqtasiga yaqin qismida kesib o'tish hodisasi.

Quyi kulminatsiya – yoritkichning osmon meridianini nadir nuqtasiga yaqin qismida kesib o'tish hodisasi.

Olam o'qi – Yerning aylanish o'qiga parallel bo'lgan va osmon sferasining markazidan o'tuvchi to'g'ri chiziqli. Olam o'qi atrofida yoritkichlarning sutkalik aylanishi sodir bo'ladi.

Olam qutblari (shimoliy va janubiy) – Yerning aylanish o'qiga parallel bo'lgan kuzatuvchi ko'zga orqali o'tuvchi olam o'qini osmon sferasi bilan kesishish nuqtalari. Yerning sutkalik aylanishi tufayli barcha yoritkichlar olam qutblari atrofida aylanayotgandek tuyuladi.

Chiqish va botish nuqtalari – yoritkichlar sutkalik aylanishining matematik gorizont bilan kesishgan nuqtalari.

O'rtacha quyosh – osmon ekvatori bo'ylab garbdan sharqqa tekis harakat qiluvchi, tropik yil davomida bahorgi tengkunlik nuqtasidan Quyosh bilan bir vaqtda chiqib, bir vaqtda qaytib keluvchi va Quyosh gardishida olingan harakatlanuvchi faraziy nuqta. Bir jinsli vaqt shkalasini belgilash uchun kiritilgan qo'shimcha, yordamchi tushuncha, chunki Quyosh gardishining geometrik markazi ekliptika va osmon ekvatori bo'ylab yaqqol notekis harakat qiladi.

Oqshom – Quyosh botishi bilan gorizont ostiga o'tgandagi sutkaning qismi. Bunda Yer atmosferasining yuqori qatlamlarida sochilgan Quyosh nurlari ko'rinadi. Quyosh gorizont ostiga 6° burchak balandligida tushganida fuqaro oqshomi tamom bo'ladi va 18° gacha bo'lgan oraliqda astronomik oqshom davom etadi. Atmosferasi bor har qanday sayyorada bunday hodisa kuzatiladi.

Sutka – vaqt birligi, 86 400 sekundga teng. O'tmishda sutka Quyoshning Yer osmonidagi ko'rinma harakati davri sifatida vujudga kelgan.

Yulduz sutkasi – bahorgi tengkunlik nuqtalarining ikki marotaba ketma – ket bir xil kulminatsiyada bo'lishi orasidagi vaqt. Uning kattaligi 23h56m04s ga teng. Yulduz sutkasi yulduz soatiga, minutiga va sekundlariga bo'linadi. Yulduz soati vaqt o'lchovi sifatida kam qo'llaniladi. Asosan astronomik kuzatishlarni tashkil etishda ishlatiladi.

Haqiqiy Quyosh sutkasi – Quyosh diskining geometrik markazi, ikkita ketma – ket bir xil kulminatsiyalari orasidagi vaqt. Ularning davomiyligi yil davomida 86 399,7 s dan 86 400,4 s gacha o'zgaradi. Bu Quyoshning ekliptikadagi notekis harakati va osmon ekvatoriga ekliptikaning qiyaligi tufayli yuzaga keladi.

O'rtacha Quyosh sutkasi – o'rtacha Quyosh nuqtasining ikkita ketma – ket bir xil kulminatsiyalari orasidagi vaqt oraliqi. Ushbu sutka birligida o'lchanadigan vaqt o'rtacha Quyosh vaqti deyiladi.

Tropik yil – Quyosh gardishi markazini bahorgi tengkunlik nuqtasidan ikki marotaba ketma – ket o'tishiga ketgan vaqt oraliqi. U 365,2422 o'rtacha Quyosh sutkasiga sutkasiga teng.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Mamadazimov M., Umumiy astronomiya (universitetlar va pedagogika oliy o'quv yurtlari uchun darslik). – T.: "Yangi asr avlodi", 2008 y.
2. Mamadazimov M.M. Kosmonavtika asoslari (darslik) –T.: Voris, 2009 y
3. Sattarov I. «Astrofizika» (1-qism, darslik). T.: Iqtisod-moliya, 2009 y.
4. Sattarov I. «Astrofizika» (2-qism, qo'llanma). T.: Turon-Iqbol, 2007 y.
5. Mamadazimov M., Tillaboyev A va boshqalar. "Astronomiya kursi (Umumiy astronomiya)dan laboratoriya ishlari" T., TDPU 2015 y.
6. Mamadazimov M. "Astronomiya" (AL va KHKlari uchun darslik). – T., O'qituvchi, 2007 y.
7. Sherdanov Ch., Mamadazimov M., Sattarova B., Ilyasov S. Umumiy astronomiya (kosmonavtika asoslari) kursidan amaliy mashg'ulotlar. T., TDPU, 2013 y.
8. M.Mamadazimov, A. Narbayev, F.Dadaboyeva. Astronomiya o'qitishning innovatsion usullari. "TerDU nashr-matbaa markazi" Termiz-2021 y.
9. Muller D.A. Designing Effective Multimedia for Physics Education. A thesis submitted in fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy. University of Sydney. – Australia 2008. – 316 p.
10. Pasachoff Jay M., Filippenko A. The Cosmos Astronomy in the New Millennium 5 th edition. Cambridge university press. 2019. – P. 289-317.
11. Roy A.E. and Clarke D. Astronomy Principles and practice. 2000. – .. b.
12. Russo P. Design, Implementation and Evaluation of Transnational Collaborative Programmes in Astronomy Education and Public Outreach. Leiden University. – Netherlands, 2015. – 187 p.
13. Phorah M. The Effect of Radiation and Convection on Stellar Oscillations. – Lecturer (Physics), Central University of Technology Pretoria, 2008. – 200 p.

O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY TA'LIM,
FAN VA INNOVATSIYALAR VAZIRLIGI
CHIRCHIQ DAVLAT PEDAGOGIKA UNIVERSITETI
AXBOROT RESURS MARKAZI

- 14174/20 -

M. Tillaboyev, Sh. E. Nurmetov, A. I. Rajapova

ASTRONOMIYA KURSI

(UMUMIY ASTRONOMIYA)

*(60110700 – Fizika va astronomiya ta'lim yo'nalishi
talabalari uchun o'quv qo'llanma)*

Muharrir: X. Taxirov

Tehnik muharrir: S. Melikuziva

Musahhih: M. Yunusova

Sahifalovchi: I. Xakimov

Nashriyot litsenziya № 2044, 25.08.2020 й

Bichimi 60x84¹/₁₆. "Cambria" garniturası, kegli 14.

Offset bosma usulida bosildi. Shartli bosma tabog'i 19. Adadi

100 dona. Buyurtma № 1814182

Yangi chirchiq prints MCHJda chop etildi.

