

**BUXORO DAVLAT UNIVERSITETI HUZURIDAGI PEDAGOG
KADRLARNI QAYTA TAYYORLASH VA ULARNING
MALAKASINI OSHIRISH MINTAQAVIY MARKAZI**

ASTRONOMIYA VA ASTROFIZIKANING ZAMONAVIY MUAMMOLARI VA YUTUQLARI

2025

Axmedov B.J.

Fizika-matematika fanlari doktori,
professor



O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIY TA’LIM, FAN VA INNOVATSIYALAR VAZIRLIGI

BUXORO DAVLAT UNIVERSITETI HUZURIDAGI PEDAGOG
KADRLARNI QAYTA TAYYORLASH VA ULARNING MALAKASINI
OSHIRISH MINTAQAVIY MARKAZI

“ASTRONOMIYA VA ASTROFIZIKANING ZAMONAVIY
MUAMMOLARI VA YUTUQLARI”

MODULI BO‘YICHA

O‘QUV-USLUBIY MAJMUA

Fizika va astronomiya

Buxoro – 2025

Modulning o`quv-uslubiy majmuasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligining 2024 yil 27 dekabrda 485-sonli buyrug'i bilan tasdiqlangan o`quv dasturi va o`quv rejasiga muvofiq ishlab chiqilgan.

Tuzuvchi: B.J. Axmedov – Fizika-matematika fanlari doktori, professor.

Taqrizchi: D.R. Djurayev – Fizika-matematika fanlari doktori, professor.

**O`quv -uslubiy majmua Buxoro davlat universiteti Ilmiy
Kengashining qarori bilan nashrga tavsiya qilingan
(2024 yil “27” dekabrda 5-sonli bayonnoma)**

MUNDARIJA

I. ISHCHI DASTUR	5
II. NAZARIY MASHG‘ULOT MATERIALLARI	10
III. AMALIY MASHG‘ULOT MATERIALLARI.....	56
IV. GLOSSARIY	86
V. ADABIYOTLAR RO‘YXATI	98
NAZORAT SAVOLLARI.....	102

Kirish

Ushbu dastur O‘zbekiston Respublikasining 2020-yil 23-sentabrda tasdiqlangan “Ta’lim to‘g‘risida”gi Qonuni, O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2015-yil 12-iyundagi “Oliy ta’lim muassasalarining rahbar va pedagog kadrlarini qayta tayyorlash va malakasini oshirish tizimini yanada takomillashtirish to‘g‘risida”gi PF-4732-son, 2019-yil 27-avgustdagi “Oliy ta’lim muassasalari rahbar va pedagog kadrlarining uzluksiz malakasini oshirish tizimini joriy etish to‘g‘risida”gi PF-5789-son, 2019-yil 8-oktabrdagi “O‘zbekiston

Respublikasi oliy ta’lim tizimini 2030-yilgacha rivojlantirish konsepsiyasini tasdiqlash to‘g‘risida”gi PF-5847-son, 2022-yil 28-yanvardagi “2022-2026- yillarga moljallangan Yangi O‘zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to‘g‘risida”gi PF-60- son, 2023-yil 25-yanvardagi “Respublika ijro etuvchi hokimiyat organlari faoliyatini samarali yo‘lga qo‘yishga doir birinchi navbatdagi tashkiliy chora- tadbirlar to‘g‘risida”gi PF-14-son farmonlari, shuningdek, O‘zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasining 2019-yil 23-sentabrdagi “Oliy ta’lim muassasalari rahbar va pedagog kadrlarining malakasini oshirish tizimini yanada takomillashtirish bo‘yicha qo‘shimcha chora-tadbirlar to‘g‘risida”gi 797-son qarorida belgilangan ustuvor vazifalar mazmunidan kelib chiqqan holda tuzilgan bo‘lib, u oliy ta’lim muassasalari pedagog kadrlarining kasb mahorati hamda innovatsion kompetentligini rivojlantirish, sohaga oid ilg‘or xorijiy tajribalar, yangi bilim va malakalami o‘zlashtirish, shuningdek amaliyotga joriy etish ko‘nikmalarini takomillashtirishni maqsad qiladi.

Dastur doirasida berilayotgan mavzular ta’lim sohasi bo‘yicha pedagog kadrlarni qayta tayyorlash va malakasini oshirish mazmuni, sifati va ularning tayyorgarligiga qo‘yiladigan umumiy malaka talablari va o‘quv rejalari asosida shakllantirilgan bo‘lib, uning mazmuni “Astronomiya va astrofizikaning zamonaviy muammolari va yutuqlari” bo‘yicha tegishli bilim, ko‘nikma, malaka va kompetensiyalarni rivojlantirishga yo‘naltirilgan.

I. Modulning maqsadi va vazifalari

“Astronomiya va astrofizikaning zamonaviy muammolari va yutuqlari” modulining **maqsadi** pedagog kadrlarning o‘quv-tarbiyaviy jarayonlarni yuksak ilmiy-metodik darajada ta’minlashlari uchun zarur bo‘ladigan kasbiy bilim, ko‘nikma va malakalarini muntazam yangilash, ularning kasbiy kompetentligi va pedagogik mahoratini doimiy rivojlanishini ta’minlashdan iborat.

Modulning vazifalari:

- “Fizika va astronomiya” yo‘nalishida pedagog kadrlarning kasbiy bilim, ko‘nikma, malakalarini takomillashtirish va rivojlantirish;
- pedagoglarning ijodiy-innovatsion faollik darajasini oshirish;
- pedagog kadrlar tomonidan zamonaviy axborot-kommunikatsiya texnologiyalari, zamonaviy ta’lim va innovatsion texnologiyalar sohasidagi ilg‘or xorijiy tajribalarning o‘zlashtirilishini ta’minlash;
- o‘quv jarayonini tashkil etish va uning sifatini ta’minlash borasidagi ilg‘or xorijiy tajribalar, zamonaviy yondashuvlarni o‘zlashtirish;
- “Fizika va astronomiya” yo‘nalishida qayta tayyorlash va malaka oshirish jarayonlarini fan va ishlab chiqarishdagi innovatsiyalar bilan o‘zaro

integratsiyasini ta'minlash.

Modul bo'yicha tinglovchilar quyidagi yangi **bilim, ko'nikma, malaka hamda kompetensiyalarga ega bo'lishlari talab etiladi:**

Tinglovchi:

- hozirgi zamon astrofizikasining nazariy masalalari, astronomiya fanining zamonaviy fanlar tizimida tutgan o'rni, fizikaviy bilimlar tizimida astrofizik masalalar va uning zamonaviy konsepsiyalari, sistema, element, struktura va funktsiya tushunchalarni, mazmuni, koinot to'g'risidagi tasavvurlarning paydo bo'lishi va rivojlanishini; yulduzlarning paydo bo'lish jarayonini; kompakt gravitatsion obyektlarni; qora o'ralar va ularning tiplarini; neytron yulduz va oq mittilarni; James Webb va Hubble kosmik teleskoplarining zamonaviy kuzatuvlari va kashfiyotlarini ***bilishi kerak;***

- grafiklar chizish usullari: matplotlib, pyplot bibliotekasi parametrlari, ular yordamida turli shakildagi grafik va histogrammalarni chizish; koinotning yirik mashtabdagi strukturasidan foydalanish; ekzoplanetalar va zamonaviy kuzatuvlarni amalga oshirish ***ko'nikmalariga ega bolishi lozim;***

- Chandrasekar va Opeengeymer-Volkov chegaralaridan foydalana olish; chala tarmoqli va to'liq tarmoqli algoritmlarni ahamiyatini ochib berish; James Webb va Hubble kosmik teleskoplarining zamonaviy kuzatuvlari va kashfiyotlarni kelib chiqishini tushuntirib berish; python tiliga kirish: projektni saqlash va tayyorini davom ettirish, sintaksisining asosiy qoidalarini qo'llash; yulduzlar evolyutsiyasini o'rganish ***malakalariga ega bo'lishi zarur;***

- mexanik harakatlarni modellashtirish va ularni visuallashtirish usullaridan foydalanish; Gravastarlar, Bozon yulduzlar, kvark yulduzlarni farqlash; ekzoplanetalar va zamonaviy kuzatuvlarni amalga oshirish; neytron yulduzlarning magnit maydonini o'rganish; qorong'i materiya va qorong'i energiya mohiyatini ochib berish; yulduzlarning paydo bo'lish jarayonini tahlil etish ***kompetensiyalariga ega bo'lishi lozim.***

Modulni tashkil etish va o'tkazish bo'yicha tavsiyalar

“Astronomiya va astrofizikaning zamonaviy muammolari va yutuqlari” moduli ma'ruza, amaliy mashg'ulotlar shaklida olib boriladi.

Modulni o'qitish jarayonida ta'limning zamonaviy metodlari, axborot-kommunikatsiya texnologiyalari qo'llanilishi, shuningdek, ma'ruza darslarida zamonaviy kompyuter texnologiyalari yordamida taqdimot va elektron- didaktik texnologiyalarni;

- o'tkaziladigan amaliy mashg'ulotlarda texnik vositalardan, blis- so'rovlar, aqliy hujum, guruhli fikrlash, kichik guruhlar bilan ishlash, va boshqa interfaol ta'lim metodlarini qo'llash nazarda tutiladi.

Modulning o'quv rejadagi boshqa modullar bilan bog'liqligi va uzviyligi

“Hozirgi zamon falsafaning dolzarb muammolari” moduli bo'yicha mashg'ulotlar o'quv rejasidagi “Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasi

asoslari” moduli bilan uzviy aloqadorlikda olib boriladi.

Modulning oliy ta'limdagi o'rnini

Ushbu fan talim yo'nalishining umumkasbiy fanlar turkumiga tegishli bo'lib, astronomiya va astrofizikaning turli yo'nalishlari orasidagi bog'liqlarini ochib berishda yordam beradi. Kuzatuv astronomiya va astrofizika, yulduzlar va boshqa astronomik ob'ektlari bilan bog'liq bo'lgan muammolar bilan tanishtiradi va O'zR Fanlar Akademiyasining turli institutlarida ishlay oladigan malakali kadrlarni tayyorlashda qo'l keladi.

MODUL BO'YICHA SOATLAR TAQSIMOTI (ja'mi 18 soat: 8 soat nazariy, 10 soat amaliy)

№	Modul mavzulari	Tinglovchilaning o'quv yuklamasi, soat			
		Auditoriya o'quv yuklamasi			
		§	jumladan		
			1	2	3
1.	Koinot to'g'risidagi tasavvurlarning paydo bo'lishi va rivojlanishi. Qorong'i materiya va qorong'i energiya.	2	2		
2.	Yulduzlarning tarkibi. Yulduzlarda metallarning o'rnini. Gersshprung-Rassel diagrammasi. O'ta massiv qora o'ralar.	2	2		
3.	Kompakt gravitatsion obyektlar. Qora o'ralar, neytron yulduzlar. Qora o'ralar va ularning tiplari. Chandrasekar va O'pengeym-Volkov chegaralari.	2	2		
4.	Neytron yulduz va oq mittilar. Neytron yulduzlarning magnit maydoni. Akkretsion disk. Qora o'raning nurlanishi. Qora o'ra termodinamikasi. Qora o'ra tasviri.	2	2		
5.	Gravitatsion to'lqinlar. Ko'p kanalli astronomiya. O'ta massiv qora o'ralar.	2		2	
6.	James Webb va Hubble kosmik teleskoplarining zamonaviy kuzatuvlari va	2		2	
7.	Ekzoplanetalar va zamonaviy kuzatuvlar. Galaktikalar va ularning turlari.	2		2	

8.	Ekzotik yulduzlar: gravostarlar, bozon yulduzlar, kvark yulduzlar. Galaktikalarning shakllanishi.	2		2	
9.	Galaktikalarning turlari. Gravastarlar, Bozon yulduzlar, kvark yulduzlar.	2		2	
Jami:		18	8	10	

NAZARIY MASHG'ULOTLAR MAZMUNI (8 soat)

1- MAVZU: KOINOT TO'G'RISIDAGI TASAVVURLARNING PAYDO BO'LISHI VA RIVOJLANISHI (2 soat)

Qorong'i materiya va qorong'i energiya. Nukleosintez va elementlarning tarqalishi. Yulduzlarning paydo bo'lish jarayoni. Koinotning yirik masshtabdagi strukturasi. Katta portlash va inflyatsiya. Yulduzlar evolyutsiyasi.

2- MAVZU: YULDUZLARNING TARKIBI. (2 soat)

Yulduzlarda metallarning o'rni. Gersshprung-Rassel diagrammasi. O'ta massiv qora o'ralar.

3- MAVZU: KOMPAKT GRAVITATSION OBYEKTAR. (2 soat)

Qora o'ralar, neytron yulduzlar. Qora o'ralar va ularning tiplari. Chandrasekar va Opegeymer-Volkov chegaralari.

4- MAVZU: NEYTRON YULDUZ VA OQ MITTILAR. (2 soat)

Neytron yulduzlarning magnit maydoni. Akkretsiya disk. Qora o'raning nurlanishi. Qora o'ra termodinamikasi. Qora o'ra tasviri.

AMALIY MASHG'ULOTLAR MAZMUNI (8 soat)

1- AMALIY MASHG'ULOT: GRAVITATSION TO'LQINLAR. (2 soat)

Ko'p kanalli astronomiya. O'ta massiv qora o'ralar.

2- AMALIY MASHG'ULOT: JAMES WEBB VA HUBBLE KOSMIK TELESKOPLARI. (2 soat)

James Webb va Hubble kosmik teleskoplarining zamonaviy kuzatuvlari va kashfiyotlari.

3- AMALIY MASHG'ULOT: EKZOPLANETALAR VA ZAMONAVIY KUZATUVLAR (2 soat)

Ekzoplanetalar va zamonaviy kuzatuvlar. Galaktikalar va ularning turlari.

4- AMALIY MASHG'ULOT: EKZOTIK YULDUZLAR: GRAVOSTARLAR, BOZON YULDUZLAR. (2 soat)

Ekzotik yulduzlar: gravostarlar, bozon yulduzlar, kvark yulduzlar. Galaktikalarning shakllanishi.

5- AMALIY MASHG‘ULOT: GALAKTIKALARNING TURLARI. (2 soat)

Galaktikalarning turlari. Gravastarlar, Bozon yulduzlar, kvark yulduzlar.

O‘QITISH SHAKLLARI

Mazkur modul bo‘yicha o‘quv mashg‘ulotlari asosan interaktiv ta‘lim prinsiplari asosida quyidagi o‘qitish shakllarida tashkil etiladi.

- ma'ruzalar, amaliy mashg‘ulotlar (ma'lumotlar va texnologiyalarni anglab olish, motivatsiyani rivojlantirish, nazariy bilimlarni mustahkamlash);

- davra suhbatlari (egallangan bilimlar asosida kasbiy kompetensiyalarni rivojlantirish, eshitish, idrok qilish va mantiqiy xulosalar chiqarish);

- bahs va munozaralar (o‘zaro tajriba almashish orqali kasbiy kompetensiyalarni rivojlantirish).

1-MAVZU: Koinot to'g'risidagi tasavvurlarning paydo bo'lishi va rivojlanishi. Qorong'i materiya va qorong'i energiya.

REJA:

- 1. Koinot to'g'risidagi ilktasavvurlarning paydo bo'lishi.**
- 2. Koinot rivojlanishining bosqichlari**
- 3. Qorong'i materiya**
- 4. Qorong'i energiya**

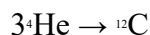
Galaktikalar Koinotning «g'ishtlari» hisoblanadi, shu sababli ularning qanday yuzaga kelgani va rivojlanish bosqichlari masalasi astrofizikaning hozirgi kundagi dolzarb muammolaridan biridir. Galaktikalarning vujudga kelish nazariyasida ikkita bir-biriga qarama-qarshi bo'lgan stsenariyalar mavjud: 1) Koinot evolyutsiyasining boshlang'ich bosqichida avval galaktikalar protoo'tato'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 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 ^4He 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, Mendelev 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 vaktida yulduzlararo gaz asosan sferik bulut ko'rinishida bo'lgan va markaziga qarab konsentratsiya 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 vaktga kelib, yulduzlararo gaz tekislik shaklidagi disk ko'rinishini olgan va u yulduzlar qa'rida qayta ishlanişdan o'tgani natijasida nisbatan og'ir elementlarni o'zida mujassamlagan. Shu sababli tekislik tashkil etuvchi qismdagi 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

yupqalanishini 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 proportsional 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.

Kosmologik prinsip 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 xususiyalaridan 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 ahamiyatga ega. Izotropik 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 jinsliliği va izotropiligi haqidagi fikr ko'pincha kosmologik printsip deb ataladi.

Oldingi kosmologik tasavvurlar bir jinslilik bilan bir qatorda bizning olamimizning o'zgaras 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 Shveytsariyalik 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 ga 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 nulga 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

$$r(t) = rR(t) \quad (2)$$

$R(t)$ funktsiyaga masshtab faktori deyiladi va u koinotning kengayishini xarakterlaydi.

r - radiusli sfera ichidagi massa hamma erda bir xil qiymatga ega bo'lgan zichlik orqali quyidagiga teng:

$$m = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho \quad (3)$$

Qaralayotgan soha chegarasida joylashgan birlik massa ega bo'lgan kinetik energiyaga $\frac{1}{2}V^2$ ga va potentsial energiya - Gm/r ga teng. Energiyaning saqlanish

qonuniga ko'ra ularning yig'indisi o'zgarmasdir:

$$\frac{1}{2}V^2 + \frac{Gm}{r} = E \quad (4)$$

Agar to'liq energiya nuldan 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. $R(t)$ masshtab faktori esa hamma vaqt o'sib boradi. Aksincha, $E < 0$ holida vaqt o'tishi bilan kengayish tezligi nul qiymatigacha kamayib borib, kengayish protsessi siqilishga o'tadi. $V=0$ bo'lganda masshtab 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:

$$V_n = \sqrt{2mG/r} \quad (5)$$

Bu formuladagi tezlik o'rniga Xabbl qonunidagi ifodasini va massa o'rniga (3) formulani qo'ysak, quyidagi zichlikka ega bo'lamiz:

$$\rho_{crit} = \frac{3H^2}{8\pi G} \quad (6)$$

Ko'rinib turibdiki, bu zichlik r radiusga bog'liq emas. Demak aytish mumkinki, hosil qilingan natija ixtiyoriy katta masshtablar uchun ham o'rinli. $E=0$ holida, 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 chegaralanmagan kengayuvchi Koinot namoyon bo'ladi.

Agar $H=75 \text{ km/(s}\cdot\text{Mpk)}$ deb olsak, Koinotning hozirgi vaqtdagi zichligi uchun kritik qiymat taxminan 10^{-29} g/cm^3 ni tashkil etadi. Metagalaktikadagi ma'lum bo'lgan hamma massalarni hisobga olgan holda topilgan zichlik 10^{-27} g/cm^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 nuldan 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^{-10} 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 $t = 4 \cdot 10^8 c = 13 \cdot 10^8$ teng (agar $H=75$ 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

$$r(t)=r_0 R(t)$$

bo'yicha o'zgaradi. Bu erda r_0 -boshlang'ich vaqt momentidagi ob'ektlar orasidagi masofa. $R(t)$ -masshtab faktorii deyiladi va u koinotning kengayishini xarakterlaydi. Xabll qonuniga ko'ra tezlikning o'zgarishi

$$v(t)=H(t)r(t)$$

qonuniyatga bo'ysunadi.

Bu holda koinotning o'rtacha zichligi quyidagi formula bilan aniqlanadi va bu zichlik kritik zichlik deyiladi.

$$3H^2$$

$$\rho = 8\pi G$$

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 $H=50\text{km/sek}\cdot\text{mgp}$ 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.

$$\frac{1}{c^2}$$

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.

Relyativistik astrofizika

Ma'lumki, nisbiylik nazariyasining natijalari katta massalar fazo va vaqt (zamon va makon) xossalarini 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 xossalriga 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 xossalari 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 nurga cheksiz intiladi (sekinlashish), fazoning egrilanishi nurga 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.

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 radioasboblarni sozlash vaqtida tasodifan kuchsiz fonli radionurlanish qabul qilingan va bu nurlanish hamma yo'nalishda bir xil intensivlikka ega bo'lgan. Zamonaviy kuzatuvlarga asosan protsentsning 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 3K 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'lqin uzunlik ham kichik bo'lgan. Shuning uchun hozir vaqtda 1 mm to'lqin uzunlikka ega bo'lgan kvantlar ilgari 1 mkm to'lqin uzunligiga ega bo'lgan, qaysiki nurlanish maksimumi Plank qonuni bo'yicha 3000-4000 K temperaturaga to'g'ri keluvchi nurlanishga mos kelgan.

Shunday qilib, relyativik 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 reliktivik neytronlar nurlanishi orqali munozara qilsa bo'ladi. Buning uchun Koinotning xiraligi $\rho \approx 10^{-9} \text{ g/sm}^3$ 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 reliktivik 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^{93} 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:

$$\gamma + \gamma \rightarrow e^+ + e^-$$

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 qaeridadur 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 qarayotgan 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» reliktik 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'rilmasdan 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.

Hozirgi kunda juda katta qiyinchiliklarga qaramay kosmologiya muammolari jadal o'rganilmoqda. Albatta, hali ko'p narsalar biz uchun noma'lum, lekin umuman olganda kosmologiyada qo'lga kiritilgan yutuqlarimiz doirasida Koinot tuzilishi va evolyutsiyasining umumiy qonuniyatlari hakida ma'lum bir tassavurga egamiz.

Nazorat savollari:

- 1. Koinotning rivojlanish bosqichlari**
- 2. Kosmologik prinsip va Koinot modellari**
- 3. Yopiq koinot modeli nima**
- 4. Ochiq koinot modeli nima**

- 5. Kengayuvchi koinot modeli nima**
- 6. Relyativistik astrofizika asoslari**
- 7. Koinot vujudga kelishi va evolyutsiya bosqichlari**

1.

2-MAVZU: Yulduzlarning tarkibi. Yulduzlarda metallarning o'rnini. Gersshprung-Rassel diagrammasi. O'ta massiv qora o'ralar.

REJA:

- 1. Yulduzlar evolyusiyasi.**
- 2. Yulduzlarning tarkibi.**
- 3. Yulduzlarda metallarning o'rnini.**
- 4. Gersshprung-Rassel diagrammasi.**

Yulduzlar evolyusiyasi: asosiy tushunchalar.

Ko'pchilik yulduzlar Quyosh singari tabiatga ega. Chunki ularning spektri Quyoshnikiga o'xshash qora (yutilish, absorbsion) chiziqlar bilan kesilgan tutash (uzluksiz) spektrdan iborat. Past dispersiyali spektrga bir qarashdan hosil bo'lgan bu o'xshashlik yuqori dispersiyalilarda yo'qoladi.

Yulduzlar olami rang-barang, ular orasida aynan Quyoshga o'xshaganlari ham bor. Biroq ko'pchilik yulduzlar spektridaqlarini joylashishi va intensivligi bo'yicha Quyoshdan farq qiladilar. Ularning ayrimlari spektrida yuqori ionlanish potensialiga ega bo'lgan kimyoviy element ionlari (N^+ , S^{++} , O^{++}) chiziqlari ko'rinsa, boshqalarinikida faqat vodorod atomi chiziqlari, uchinchi xillarini esda faqat past ionlanish potensialiga ega atomlar va molekulalar chiziqlari va tasmalari kuzatiladi¹.

Yuqorida ko'rganimizdek tutash spektr yulduz (Quyosh)ning fotosfera qatlamining pastki qismlarida chiziqlar esa uning ustiga nisbatan past temperaturaga ega qismlarida hosil bo'lsa, yulduzlarning spektridagi rang baranglik ularning fotosferasidagi fizik sharoitni turlichaligi bilan bog'liq degan xulosaga kelamiz. Spektri Quyoshniki singari bo'lgan yulduzlar normal yoki stasionar yulduzlar deb ataladi. Bunday yulduzlarni yorug'ligi deyarli (~ 0.1 %) o'zgarmaydi. Demak, ularning (T) temperaturasi va radiusi (R) deyarli o'zgarmaydi, yulduzning ichki va tashqi qatlamlari termodinamik muvozanatda.

Ayrim yulduzlar spektrida keng emission (yorug') chiziqlar boshqalarinikida yutilish chiziq bilan birgalikda, uni yonida yoki ustida shu atomga tegishli emission chiziq ham kuzatiladi. Uchinchi turdagi yulduzlar yorug'ligi bilan birgalikda spektrini o'zgartirib turadi. Bunday yulduzlar nostasionar yulduzlar deyiladi. Ularni o'rganishga o'tishdan oldin stasionar yulduzlarni fizik xususiyatlari bilan tanishib chiqamiz.

Qadimdan yulduzlar juda ko'p va bir biriga (sayyoralarga) nisbatan harakatlanuvchi mitti yorug' sharga o'xshab ko'ringan. Koinot mukammal, bir butundir hamda Biz uning markazida yoki markaz yaqinida joylashganmiz. Lekin 1609 yili dastlabki Galileyning optik teleskoplar yordamida tungi osmonni kuzatuvlaridan keyin Koinot to'g'risidagi tasavvurlarimiz dramatik tarzda o'zgardi. Endi biz o'zimizni Koinot markazida deb tasavvur qila olmaymiz va u mislsiz kattadir.

Oysiz tunda ochiq osmonda biz minglab har xil yorqinlikdagi yulduzlarni, shuningdek, Somon Yo'lining uzun yorug' bulutli tasmaini ham ko'rishimiz mumkin. (1-rasm). Galiley ilk bor o'zining teleskopida Somon yo'lining son-

¹Arnab Rai Choudhuri, *Astrophysics for Physics*, Cambridge University Press, 2010, 471 p.

sanoqsiz alohida yulduzlardan tashkil topganligini kuzatgan. Qariyb bir yarim asr keyinroq (taxminan 1750 yillarda) Tomas Vrayt xozirda biz Galaktika² deb nomlaydigan Somon yo‘lini bir tekislikda juda katta masofalarga yoyilib ketgan yulduzlardan iborat yassi disk deb taxmin qildi.

1-rasm. Somon yo‘li galaktikasining bir qismi. (a) rasmdagi ingichka chiziq .. qorong‘i diagonal soha yorug‘likning galaktika changlari tomonidan yutilishi hisobiga hosil bo‘lgan. (b) rasm galaktika markazi tomonidan ko‘rinishi (Arizona (AQSH) yozida tasvirga olingan).



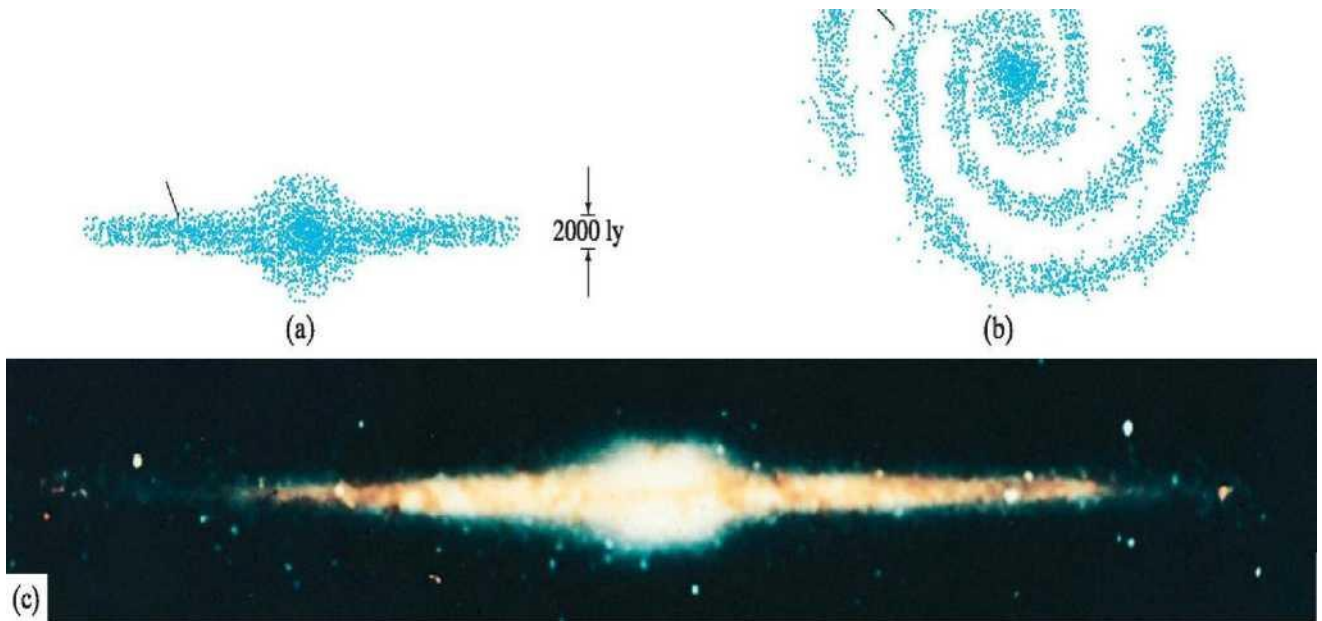
(a)



(b)

Bizning Galaktikamiz diametri deyarli 100 ming yoy. va disk qalinligi 2000 yoy.ga teng. U yana markaziy do‘nglik va spiral qo‘llariga ega (2-rasm). Quyoshimiz Galaktika markazidan to chekkasigacha bo‘lgan masofaning o‘rtalarida joylashgan, bu taxminan markazdan 26000 yoy ga teng. Bizning Galaktikamiz taxminan 400 milliard yuzduzlardan tashkil topgan. Quyosh Galaktika markazi atrofida har 250 million yilda bir marta aylanib chiqadi va tezligi Galaktika markaziga nisbatan 200km/s. Jammasi odatiy materiyasining massasi esa taxminan 4.1041kg. Yana shunday qat’iy dalil ham borki, Galaktika massiv ko‘rinmas “Galo” “qorong‘i materiya” bilan o‘ralgan.

²Galaktika (bosh harf bilan) bu biz joylashgan galaktika, qolganlari kichik harflar bilan keltiriladi



Quyosh

2-rasm. Bizning Galaktikamizning tashqi tomondan ko‘rinishi: (a) disk tekisligida "yondan ko‘rinishi"; (b) "ust ko‘rinishi". (Tashqi tomondan ko‘rinishi-agar buni iloji bo‘lganida huddi shunday ko‘ringan bo‘lar edi!) (c) Somon yo‘li galaktikasi ichkari tomonidan olingan infraqizil tasvir- Galaktika diski va markaziy do‘nglik ko‘ringan holda. Bu COBE sun‘iy yo‘ldoshidan juda katta burchakda, osmonning deyarli 3600 burchakli qismidan olingan tasvir. Oq nuqtalar qo‘shni yulduzlardir.

Bundan tashqari, agar biz tungi ochiq osmonni teleskop yordamida kuzatsak, Somon Yo‘lining ichidagi va tashqarisidagi yulduzlar “nebula” (Lotin tilidan “bulut”) deb ataladigan yorug‘ bulutlarni ko‘rishimiz mumkin. Oddiy ko‘z bilan ochiq osmonni kuzatganimizda, ularning ko‘pchiligi Andromeda va Orion deb ataluvchi yulduzlar turkumiga kiruvchi tumanliklarni ko‘rishimiz mumkin. Ba’zi yulduz turkumlari va guruhleri ko‘p sonli yulduzlardan iborat bulutga o‘xshab ko‘rinadi (3-rasm). Boshqalari qizigan gaz yoki chang va ularni biz asosan nebula deb ataymiz.

3-rasm. Herkules yulduz turkumida joylashgan sharsimon yulduz klasteri



Eng ajoyib uchinchi toifaga mansub bo'lganlar: ular ko'pchiligi elliptik shaklga ega. Immanuel Kant (1755 y.) ularning hira bo'lib ko'rinishining sababini bizning Galaktikadan juda olisda joylashganligida deb tushintirgan. Dastlab, bu ob'yektlar Galaktikamizdan tashqaridagi (ekstragalaktik) ob'yektlar ekanligi ishonarli deb tan olinmadi, lekin XX asrga kelib juda katta diametrli teleskoplar barpo etildi va ular yordamida ekstragalaktik ob'yektlar kuzatila boshalandi, hattoki ko'pgina yulduzlarning boshqa, Galaktikamizdan olisdagi spiralsimon galaktikalardagi aniq joylashgan o'rinlari va boshqa xususiyatlari aniqlandi. Yedvin Habbl (1889-1953) 1920 yillarda Los Angeles va Kaliforniya yaqinidagi Vilson tog'ida joylashgan 2,5 m li teleskop yordamida ko'pgina kuzatuvlar olib bordi. Habbl ushbu ob'yektlar haqiqatan ham Galaktikamizdan tashqarida joylashganini ulargacha masofaning juda kattaligidan kelib chiqqan holda isbotlab berdi. Bizga eng yaqin galaktika bo'lgan Andromeda tumanligigacha masofa 2 million yoy.ga teng, bu esa Galaktikamiz o'lchamidan 20 barobar katta degani. Mantiqan olib qaraganda bu tumanlik bo'lib ko'rinishiga qaramasdan, u ham Galaktikamizga o'xshash galaktika bo'lsa ajab emas. Bugungi kunga kelib, koinotning kuzatish mumkin bo'lgan sohasida taxminan 10^{11} ta galaktikalar mavjud, bu degani galaktikalar soni taxminan bitta galaktikadagi yulduzlar soniga teng (4-,5-rasmlarga qarang).



4-rasm. Carina yulduz turkumida joylashgan gazsimon tumanlik. Bizdan taxminan 9000 yoy. uzoqlikda.



5-rasm. Galaktikalarning rasmlari, (a) Hidra yulduzlar turkumlaridagi spiral galaktikalar, (b) Ikkita galaktika: kattaroq va dramatikrog'i mashxur Virpul galaktikasi, (c) (b)dagi galaktikaning infraqizil tashviri ("yasama" ranglarda 26

berilgan), bu Yerda spiral galaktikaning (b) rasmda ko'rinmay qolgan yenglari ham

ko'rsatilgan; har hil ranglar har hil intensivliklarga to'g'ri keladi. Ko'rinuvchi nurlar galarikalararo "changlar" da infraqizil nurlarga nisbatan ko'proq yutiladi va sochiladi, shuning uchun infraqizil nurlar aniqroq tasvir beradi.

Odatiy yulduzlardan tashqari galaktalarda, yulduz klasterlarida, galaktikalar klasterlarida va superklasterlarda ko'plab qiziqarli ob'yektlar ham mavjud. Ular orasida qizil gigantlar, oq mittilar, neytron yulduzlar, nova va supernova deb ataluvchi yulduzlarning portlashi va hattoki yorug'lik ham chiqib ketolmaydigan, gravitatsiyasi kuchli bo'lgan qora o'ralar bizga ma'lum. Bundan tashqari, Yerga elektromagnit to'lqinlar ham yetib keladi, ammo ular nuqtaviy yorug'lik manbalaridan chiqmaydi: ayniqsa muhim tomoni shundaki, mikroto'lqinli nurlanish foni koinotning barcha yo'nalishlarida bir hil.

Nihoyat, uzoq galaktikalar markazlarida o'ta yorqin nuqtaviy yorug'lik manbalar bo'lgan faol galaktika yadrolari (FGYA) ham mavjud. FGYAlarning eng ta'sirchan ko'rinishi yorqinligi katta bo'lgan qvazarlardir ("kvaziyulduz" yoki "yulduzga o'xshash ob'yektlar"). Ularning yorug'liklari galaktika markazlarida joylashgan gigant qora o'ralar orqali o'tib keladi.

Yulduzlarning temperaturasi. Yulduzlarni nurlanishi uning atmosfera qatlamlaridan chiqadi va uni o'lchashga asoslanib topilgan temperatura ana shu atmosfera qatlamlarining temperaturasi bo'ladi. Yulduzlar temperaturasini o'lchashning bir necha usullari mavjud, ular yulduz spektrida energiyani taqsimlanishini va yulduz chiziqlar intensivligini yoki to'la energiyani o'lchashga asoslangan.

Qo'llanilayotgan usulga ko'ra hisoblab topilayotgan temperatura har xil nom bilan yuritiladi. Har xil usul bilan o'lchanayotgan yulduz temperaturasi biroz farq qiladi. Buning sababi ular yulduz nurlanishining har xil sohalarini ifodalaydi. Shu usullarga qisqacha to'xtalib o'taylik³.

a) to'la energiyani o'lchash yo'li bilan T-ni hisoblash. Bu usulni burchakiy diametri ma'lum bo'lgan yulduzlarga qo'llash mumkin va u yulduziy bolometrik kattalikni o'lchashni talab qiladi. Bunday usul bilan topilgan temperatura effektiv temperatura deb ataladi va u to'la energiyasi yulduznikidek bo'lgan absolyut qora jismni temperaturasini ko'rsatadi $L=4\pi r^2 Y_e$ -yulduzning yorqinligi, Y_e -yulduz nuri masalan, Yerda osil qilayotgan yoritilganlik, r -yulduzning Yerdan uzoqligi. $L=4\pi R^2 a T_e$ - radiusi (R) yulduznikidek bo'lgan absolyut qora jismni yorqinligi, T_{ye} -uning temperaturasi. Ularni tenglashtirib temperaturani topamiz $T_{ye}=642.3$

$$E \frac{2R}{aO r}$$

⁴; $0=206265$ — yulduzning burchakiy sekundlarda ifodalangan diametri.

Shunday munosabatni Quyosh uchun ham yozish mumkin. Quyoshning $T_{ye}=5700^\circ$ va $m_b=-26^m.85$ ligini hisobga olsak, u holda m_b - bolometrik yulduziy kattalikka ega yulduzning effektiv temperaturasi

$$\lg T_{ye} = 2.718 - 0.1 m_b - 0.5 \lg \theta$$

formula yordamida xisoblanishi mumkin. Bu usulni θ si ma'lum bo'lgan 100 ga yaqin yulduzlarga qo'llash mumkin.

b) *spektrida energiyani taqsimlanishini o'lchash yo'li bilan T-ni aniqlash.* Bu

usul ham yulduz spektrida energiyani taqsimlanishi absolyut qora jismniki singari bo'la degan farazga asoslanadi. Ma'lumki absolyut qora jism spektrida energiyani taqsimlanishi Plank formulasi yordamida ifodalanishi mumkin. Bu usul bir necha usulchalarga ajraladi.

1) *Vin siljish qonuniga asosan hisoblash.* Vin siljish qonuni yoritqich spektrida energiya maksimumining to'liq uzunligi bilan temperatura (T_{ye}) orasidagi

brjlanishni ifodalaydi va undan foydalanib $T_p = 0.29 \text{ K}$ ni topamiz; bu yerda $\lambda_{\max}$ -

spektrda intensivlik $I_\lambda(T)$ maksimumi to'g'ri keladigan to'liq uzunlik, sm larda. Bu usulni qizil yulduzlarga qo'llash mumkin. T_{ye} —rang temperaturasi.

2) *rang ko'rsatqichini o'lchash asosida T_{ye} hisoblash.* Agar yulduzning yorug'ligi uning spektrini ikki qismda (masalan V (vizual) va V (ko'k)) o'lchangan bo'lsa u holda temperatura

$$T = \frac{7920}{(B-V) + 0.72}$$

formula yordamida hisoblanishi mumkin. Bunday usul bilan o'lchangan T ham rang temperatura deyiladi.

3) *Spektral chiziqlar intensivligini o'lchash yo'li bilan T-ni aniqlash.* Birorta kimyoviy element atomlari yoki ionlarning ko'plab chiziqlari yulduz spektrida bo'lsa u holda atomlarni uyg'ongan holatlar bo'yicha taqsimlanishini topish mumkin. Bolsman yoki Saxa formulalari termodinamik muvozanatda uyg'ongan holatlar (sathlar) bo'yicha atomlarni taqsimlanishini ifodalaydi va bu taqsimlanish holatni uyg'onish potentsiali (χ) va muhitni temperaturasi (T) bog'liq.

$$n = \frac{g_n}{g_1} \frac{e^{-\chi_1/kT}}{e^{-\chi_2/kT}}$$

bu yerda g-energetik satini statistik vazni, N_1 va N_n —birinchi va n—nchi satilarda atomlar soni.

Chiziqlarni intensivligini o'lchab N topiladi va Bolsman formulasiga asoslanib T-xisoblanadi. Bunday usul bilan hisoblangan T-uyg'onish temperaturasi deyiladi. Agar kimyoviy elementni atomlari va ionlari chiziqlari yulduz spektrida bo'lsa u holda Bolsman va Saxa formulalari yordamida temperaturani va elektron konsentratsiyasini hisoblash mumkin. Bunday usul bilan topilgan T – ionizatsiya temperaturasi deyiladi.

Har xil usullar bilan hisoblab topilgan T lar bir biriga yaqin bo'ladi va yulduz atmosferasining temperaturasi ko'rsatadi. Yulduzlarning temperaturasi 1000 dan 50 000 K gacha oraliqqa to'g'ri keladi, ya'ni yulduzlarni eng past va yuqori T-lari 50 marta farq qiladi, xolos. Bunday usullar bilan o'lchangan temperatura yulduzning atmosfera qatlamlarining temperaturasiligini unutmaslik kerak. Temperatura yulduzning ichki qatlamlarida bundan yuqori bo'ladi.

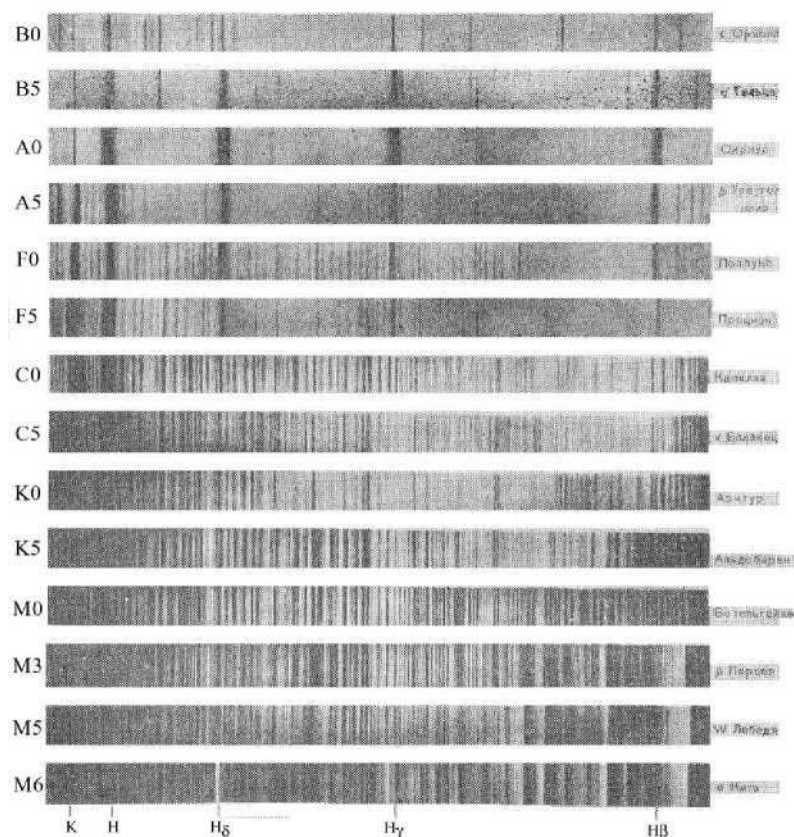
Yorqinlik temperatura (T) ning to'rtinchi darajasiga bog'liqligini xisobga olsak,

yuqorida topilgan yulduzlarning yuza temperaturalar farqi ularning yorqinliklarini $2.5 \cdot 10^5$ marta o'zgarishini ta'minlaydi. Demak L ni o'zgarish diapazoni (10^{12})ni qoplash uchun R ni o'zgarish diapazoni 10^5 martadan kam bo'lmashligi zarur.

Yulduzlar spektri. Spektral sinflashtirish. Ko'plab stasionar yulduzlar spektrini tahlil qilib, ulardagi chiziqlar to'liq uzunligi va intensivligi har xil ekanligiga ishonch hosil qilish mumkin. Chiziqlarni intensivligiga ko'ra yulduzlarni ma'lum ketma-ketlikda joylashtirish yoki spektral sinflarga ajratish mumkin. Bunday ish birinchi navbatda vodorod (N_α , N_β , N_γ , N_δ) va geliy ($\lambda\lambda$ 5875 Å, 6678 Å) va keyin metal ionlari (N va K Sa II) atomlari (D_1 , D_2 , Na), molekular chiziqlariga nisbatan AQSHning Garvard universitetida bajarilgan va u garvard spektral sinflashtirish deb ataladi. 1918-24 yillarda e'lon qilingan va Genri Dreper (ND) katalogi deb ataladigan 9 tomlik jadvalda 225330 yulduzni spektral sinfi belgilangan. Hozirgi kunga kelib jami 500 000 dan ortiq yulduzni spektral sinfi aniqlangan. Spektral sinflar lotin alifbosining bosh haflari bilan belgilanadi: O, B, F, A, F, G, K, M, (L, T).

Bu harflar ketma-ketligini eslab qolish uchun garvard universiteti talabalar shunday hazil o'ylab topishgan: Oh, BeAFineGirlKissMe⁵.

O-sinfga mansub yulduzlar spektrida geliy ioni (NeII) va yuqori darajada ionlangan azot (NIII λ 4514 Å, NIV λ 3479 Å), uglerod (CIII λ 4647 Å) kislorod (OIII λ 3700 Å, OIV λ 3385 Å) chiziqlari ko'rinadi. V-sinfga mansub yulduzlar spektrida neytral geliy (NeI λ 5875 Å) va past darajada ionlangan azot (NII λ 6578 Å, λ 4267 Å), uglerod (SII λ 6578 Å, λ 4267 Å), kislorod (OII λ 4649 Å, λ 4119 Å) va vodorod atomi chiziqlari (N_α λ 6563 Å, N_β λ 4861 Å, H_γ λ 4340 Å) kuzatiladi.



⁵Arnab Rai Choudhuri, Astrophysics for Physics, Cambridge University Press, 2010, 471 p.

Rasm. Xar spektral sinfga mansub yulduzlarning sinfi

A-sinf, vodorod atomi chiziqlari ($N_{\alpha}\lambda 6563 \text{ \AA}$, $N_{\beta}\lambda 4861 \text{ \AA}$, $N_{\gamma}\lambda 4330 \text{ \AA}$) eng intensiv ko'rinadi. Sumbulaning α -si spektrida vodorod atomi chiziqlari $N_{\alpha+}$, N_{β} , N_{γ} , N_{δ} va hokozo eng intensiv, geliy chiziqlari yo'qolgan. F- intensiv vodorod Sirius (α CM) chiziqlari N_{α} , N_{β} . bilan birgalikda metall ionlari ($NaII\lambda\lambda 3934 \text{ \AA}$, $3956 \text{ \AA}$) chiziqlari ko'rinadi. Prosion (α CMi) misol bo'la oladi. G- asosiy chiziqlar metallar (Na, Mg, Fe, Ca) niki vodorod chiziqlariham ko'rinadi, biroq ancha xiralashgan. Quyosh G-sinfga mansub. K-kalsiyoni ($NaII$) chiziqlari va metallar chiziqlari ($G_{\text{tasma}} \lambda=4305 \text{ \AA}$ da $\lambda=4315 \text{ \AA}$) yaqqol ko'rinadi, molekulalar (TiO) chiziqlari va tasmalari ko'rinaboshlaydi. Aldebaran (Savrning α -si, α Tau) misol bo'laoladi. M-molekulalar (Ti , O_1 , S_2 , SN) tasmalar va chiziqlar orasida TiO tasmalari ajralib turadi. Betelgeyze (Orionning α -si, α Ori) misol bo'laoladi.

L- sinfga mansub yulduzlar spektrida ishqor metallar (Li, Na, K, Cs) chiziqlari kuzatiladi.

T-sinfga kiradigan yulduzlar spektrida metan (CH_4) va ishqor metallar chiziqlari ko'rinadi. Oxirgi ikkita sinf (L, T) yaqinda (2000 y.) kashf etildi. G dan boshlangan S-sinf spektrida uglerod (S_2 , SN) molekulalari chiziqlari ayniqsa ajralib turgani uchun bunday yulduzlar uglerodli deb ataladi. Shuningdek K-sinf yonida joylashgan S-sinf spektrida sirkoniy, ittiriy va lantan oksidlari chiziqlari ko'rinadi⁶.

Yulduzlarning fizik ko'rsatgichlarini yana ham aniqroq belgilash maqsadida spektral sinflar ketma-ketligi keltiriladi, asosiy sinflar orasi o'nta oraliq sinfga ajratiladi: O5, O6, O7, O8, O9, V0, V1, V2, ..., V8, V9, A0, A1, ..., A8, A9, J0, va hokozo.

b) Garvard spektral sinflashtirishning fizik asoslari.

Spektral sinflardagi chiziqlar turli tumanligi yulduzlarning kimyoviy tarkibi har xil ekan degan hulosaga olib kelmasligi kerak. Chunki chiziqni hosil bo'lishi muhitni temperaturasiga bog'liq. Yulduz spektrida u yoki bu atom chiziqlarini ko'rinishini zarur sharti yulduz atmosferasida shu element atomlarini mavjudligi bo'lsa, yetarli sharti atmosferada temperatura sharoiti atomlarni uyg'ongan holatga o'tkazish uchun yetarli bo'lishi kerak. Demak spektral ketma-ketlik asosida temperaturalar har xilligi yotadi. Atomlarni uyg'ongan holatlar bo'yicha taqsimlanishi Bolsman va Saxa formulalari bilan ifodalanadi. Har bir kimyoviy elementni ko'pchilik atomlari ma'lum temperaturada (T_u) uyg'on holatlarga o'tadi. Agar $T > T_u$ bo'lsa atomlar ionlanadi va bu chiziqni hosil qilishda ishtirok etayotgan atomlar sonini kamayishiga olib keladi. Yoki $T < T_u$ bo'lsa bu holda ham shu chiziqni hosil qilishda ishtirok etadigan atomlar soni kam bo'ladi. Vodorodning ko'pchilik atomlarini uyg'ongan holatlarga ($x=10 \text{ ev}$) o'tkazish uchun $T_u=10^4 \text{ K}$ bo'lishi kerak.

Bunday sharoit A sinfga mansub yulduzlarda mavjud. Agar temperatura $T > 10^4$ (V sinf) yoki $T < 10^4$ (F sinf) bo'lsa vodorod chiziqlari N_{α} , N_{β} , N_{γ} , N_{δ} -lar intensivligi $T=10^4$ (A-sinf) dagi qaragandan kam bo'ladi, bunday farq temperatura ayirmasi $|T-T_u|$ ortgan sari kuchayib boraveradi va u ma'lum darajaga $5 \cdot 10^3$ yetgach vodorod chiziqlari umuman ko'rinmaydi. Geliy atomlarini uygonish potensial $x > 20 \text{ ev}$, ya'ni

⁶James B. Hartle, Gravity: An Introduction to Einstein's General Relativity, Pearson Education Ltd., 2013, 554 p.

vodorodnikidan ikki marta katta, demak geliy atomi chiziqlari hosil bo'lishi uchun T-20 000 bo'lishi kerak. Bunday sharoit V sinfga mansub yulduzlarda mavjud. A –sinf yulduzlarida temperatura geliy atomlarini uyg'ongan holatlarga o'tkazish uchun yetarli emas. Shuning uchun ularda geliy chiziqlari kuchsiz. K, M- sinf yulduzlarida temperatura ancha past (4500-3500 K) va molekulalar hosil bo'lishi uchun sharoit yetarli.

Shunday qilib, har bir kimyoviy element atomlari chiziqlari ma'lum temperaturadagi (sinfdagi) yulduzlarda maksimal intensivlikka ega bo'ladi. Bu sinfdan chap yoki o'ng tomonda joylashgan sinflarda intensivlik kamaya boradi. Spektral sinflar chiziqlarni intensivligi bo'yicha belgilanadi. Temperaturani aniqlash uchun oraliq sinflar kiritilgan. A bilan V orasi o'nta oraliq sinfga bo'lingan.

Agar yulduzni spektri olingan bo'lsa, uni spektral sinfini va temperaturasi (T) ni aniqlash mumkin. Bunday yo'l bilan aniqlangan T tutash spektrda energiyani taqsimlanishi yoki rang ko'rsatqichi (V-V) bo'yicha aniqlangan temperaturaga mos kelishi isbotlangan. Shuning uchun spektral sinflar o'rnida T_e yoki V-V qo'llaniladi. Jadval 1 da bosh ketma-ketlik spektral sinf, T_e va V-V keltirilgan.

1-jadval

	O	V	A	G	G	K	M		
	5	0	0	0	0	0	0		
	4	2	9	7	6	4	3		
e	0 000	8 000	900	400	030	900	480	700	300
	-	-	0	0	0	0	1	(	(
-U	0.33	0.31	.00	.27	.57	.89	.45	3)	5)

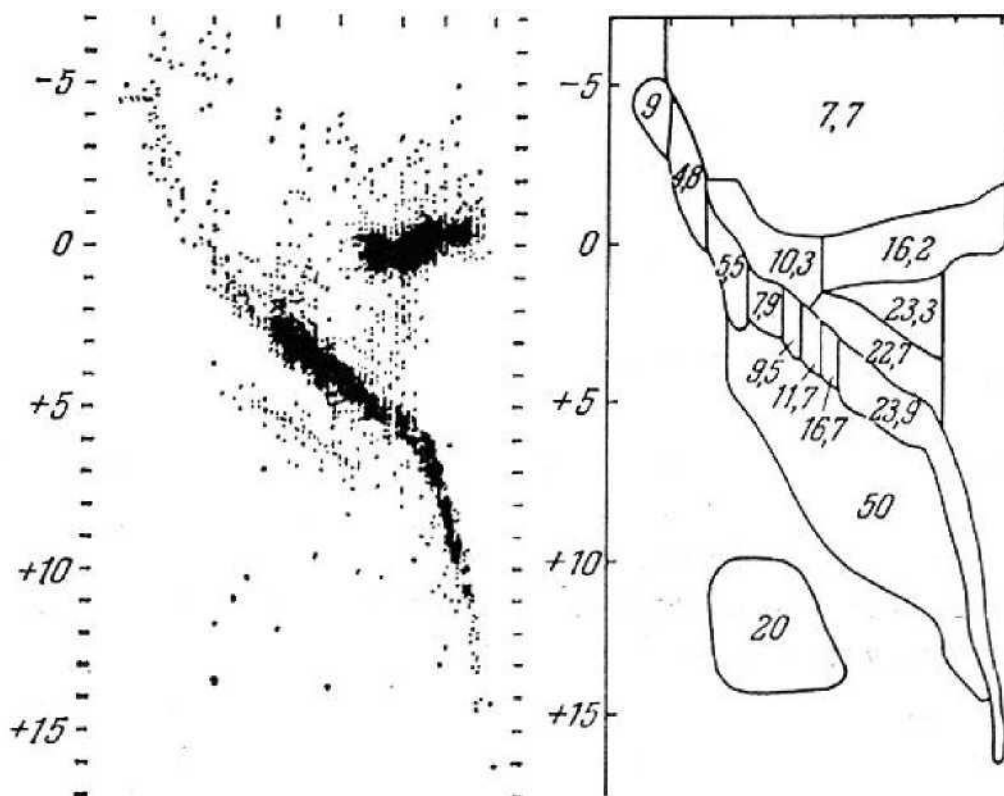
v) Gersshprung-Rassel diagrammasi

XX-asr boshlarigacha bir necha yuz yulduzni uzoqligi (yillikparallaksi) o'lchanadi va absolyut kattaligi (M) hisoblab topiladi. Shu paytga kelib ularning spektral sinflari ham aniqlanadi. 1905 – 1913 yillarda daniyalik E. Gersshprung (1873-1967) va amerikalik G.N. Rassel (1877-1957) bir-biriga bog'liq bo'lmagan holda yulduzlar diagrammasini tuzadilar. Ular ordinate o'qi bo'ylab yulduzlarni absolyut kattaliklari abscissa o'qi bo'ylab esa spektral sinflarini qo'yadilar. Bunday diagrammada har bir yulduz bitta nuqtasifatida o'riningallaydi. "Gersshprung-Rassel diagramma" si nomi bilan fanga kirgan, bu diagramma rasmda tasvirlangan⁷.

Diagrammada yulduzlar ma'lum tartibda joylashadilar. Ko'pchilik (90 %) yulduzlar diagrammani yuqori chap tomonidan boshlanib o'ng past tomoniga cho'zilgan ingichka sohada joylashadilar. Bu yulduzlarni bosh ketma-ketligi deyiladi. Diagrammani o'rtasidan biroz chaproq va yuqoriroqda bir to'da yulduzlar o'rin egallaydilar. Ular gigant yulduzlar deb ataladi, chunki ular bosh ketma-ketlikdagi shunday spektral sinfdagi karlik (xira) yulduzlardan yuzlab marta yorqindirilar va bu ularning radiusi o'nlab marta kattaligi bilan bog'liq. Diagrammani yuqori qismidan yana ham katta (10^4 marta) yorqinlikka ega yulduzlar o'rin oladilar. Bunday yulduzlar o'ta gigant deb ataladi va ular kamchilikni tashkil etadi.

0BAFGKMM8 0BAFGKMM8

⁷Arnab Rai Choudhuri, Astrophysics for Physics, Cambridge University Press, 2010, 471 p.



2-rasm-7. Gershprung-Rassel diagrammasi va ayrim yulduzlar guruhlarining fazoviy xarakat tezliklari

Diagrammani pastki chap yarim qismida qaynoq biroq shunday temperturadagi bosh ketma-ketlik yulduzlaridan yuzlab minglab marta kam yorqinlikka ega yulduzlar joylashadilar. Bu yulduzlar bosh ketma-ketlik yulduzlaridan o'nlab marta kichik bo'lganliklari uchun oq mittilar deb atalaganlar.

Karlik yulduzlar spektral sinfi oldiga kichik d (dwarf), subkarliklar- sd, gigantlar-g, o'ta gigantlar-sg yoki xarf qo'yib belgilanganlar. Masalan, sA yoki sgA-A sinfga mansub o'tagigant, gG-G sinfga kiruvchi gigant, sdM-M sinfga kiruvchi sub karlik, dG-G sinfga kiruvchi bosh ketma-ketlik yulduzi va wA-A sinfga kiruvchi oq mittilar. Bunday ajratishda spektral chiziqlarni kengligi va intensivligi asos qilib olingan. Bu belgilar oldin chiqqan jadvallar va kitoblarda uchraydi. Xozirgi zamonda ular qo'llanilmaydi. Ular o'rnida rim raqamlari I, II, III, IV, V, VI, VII bilan ifodalanadigan yorqinlik sinflari qo'llaniladi.

Yulduzlarni aylanishi va magnit maydoni. Quyosh o'z o'qi atrofida aylanadi va uning aylanish tezligi ekvatorida 2 km/s. Quyoshning umumiy magnit maydoni kuchlanganligi 0.5 gs ga teng va u o'zgaruvchan (22 yillik sikl)dir. Yulduzlar ham o'z atrofida aylanishi va uning tezligiga mos ravishda kuchlanganlikka ega o'zgaruvchan magnit maydon hosil qilib turishi kerak. Agar yulduz o'z atrofida aylanayotgan bo'lsa uning bir cheti bizga tomon harakat qilsa qarama-qarishi bizdan uzoqlashadigan harakat qiladi. Demak yulduzning butun gardishi bo'yicha yig'indi nurlanish spektrida chiziqlar doppler effekti tufayli

kengaygan bo'ladi. Shuning uchun bir xil sinfga mansub ikkita yulduz chiziqlari farqi ularni o'q atrofida aylanishi va magnit maydoni bilan bog'liq bo'lishi mumkin.

Haqiqatdan chiziqlar profilini o'rganish shuni ko'rsatdiki, O5-G'0 sinfga mansub bosh ketma-ketlik yulduzlari o'q atrofida aylanishi ekvatorida 300-400 km/s ga yetishi mumkin. G'5-M sinfga mansub yulduzlarniki 10 km/s dan oshmaydi. o'tagigant va gigant O-F yulduzlar bosh ketma-ketlik yulduzlariga nisbatan sekin aylansalar, G-M yulduzlar tez (100 km/s gacha) aylanadilar⁸.

Hozirgi zamon usullari yulduzlar magnit maydoni kuchlanganligi $N > 200$ gs bo'lsa o'lcay oladilar. Yuzdan yulduz magnit maydonga ega ekanligi aniqlagan.

Gravitasion kollaps

Qisqa vaqt (1-2 kun) ichida yorug'ligini minglab yoki millionlab marta oshirib yuboradigan, ungacha hech qanday ko'rsatgichi bilan ko'zga tashlanmagan, chaqnash paytida esa atrofidagi yulduzlar orasida yaqqol ko'rinadigan yulduz yangi yoki o'tayangi yulduz deb ataladi. Ma'lum vaqt davomida (o'nlab yillar) yangi oldingi holatiga qaytadi, o'tayangi o'rnida esa neytron yulduz hosil bo'ladi. Yangi va o'tayangi hodisasi nafaqat yorug'likni o'zgarishi bilangina farq qilmay balki, ular yulduz faoliyatida butunlay boshqa-boshqa jarayonlardirlar. Yulduz bir necha marta yangi sifatida chaqnashi mumkin, biroq bir marta o'tayangi sifatida chaqnaydi. Yangi yulduzlar qatori chaqnovchi mitti yulduzlarga ulanib ketadi. Biroq ularni hosil qiladigan yulduzlar zich qo'shaloq bo'lishi ta'kidlanmoqda.

a) yangi yulduzlar. O va V sinfga mansub havo rang karlik chaqnash sifatida ko'rinadigan bunday yulduzlarni ikki guruhga bo'lish mumkin. Birinchi guruhga juda tez va tez yangilar kiradi, ularning so'nish fazasida yorug'ligini o'zgarish egrisi nisbatan tekis bo'lib (3-rasm) maksimumida absolyut vizual kattaligi $M_V = -8.5 - 14^m$ oraliqda bo'ladi. Yorug'ligini o'zgarish amplitudagi $A = 11.9^m$ gacha yetadi. Ikkinchi guruhga past darajada tez va juda sekin yangilar kiradi. Ularning yorug'lik egrisi silliq bo'lmay ichki tuzilishga ega va har xil yangilarniki bir-biriga o'xshamaydi. Bunday yangilarning absolyut vizual kattaligi $M_V = -6.5 - 7^m$ oraliqda, yorug'ligini o'zgarish amplitudasi $A = 9.2^m$. Yangilar boshqa galaktikalarda ham kuzatiladi⁹. Masalan, Andromeda tumanlii (M 31)da 300 yaqin yangi qayd qilingan. Andromeda tumanligida va bizning Galaktikada (-200 ta) yangilar yulduz tizimning asosiy tekisligi yaqinida, tizim markazi tomon zichlashib boradigan holda kuzatiladilar. Yangining maksimumida absolyut vizual kattaligi ($M_{V,max}$) bilan uni uch birlikka kamayishi uchun ketgan vaqt (t_3) orasida quyidagi statistik bog'lanish topilgan:

$$M_{V,max} = -11.75^m + 2.51 \lg t_3.$$

1975 y. Oqqushda kuzatilgan yangi uchun $t_3 = 4.1^d$ va $M_{V,max} = -10.2^m$. Ko'pchilik observatoriyalar ishtirokida o'tkaziladigan maxsus kuzatishlarda Andromeda tumanligida bir yilda 26 ta yangi qayd qilindi.

Yangilarni infraqizil (IQ) nurlarda kuzatishga ko'ra ayrim yangilarning IQ yorug' optik maksimumdan keyin kamayish o'rniga ortish ko'rsatadi. Misol uchun

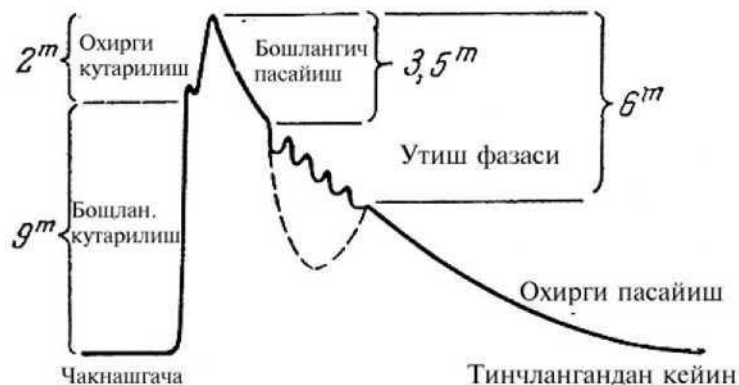
⁸ Бочкарев Н.Г.6 Магнитные поля в космосе, М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2011. – 216 с.

⁹

Max Camenzind, Compact Objects in Astrophysics, Springer, 2007, 682 p.

1976 y.da chaqnagan NQVal yangining IQ ($l=3.2$ mkm) yorug'ligi 80 kun ichida 3^m birlikka ortdi. Bu yangi atrofida hosil bo'lgan ($T=1000^\circ$) ulkan chang qobug' bilan bog'liq.

Chaqnash paytida maksimumgacha yangining spektri o'tagigantga xos xususiyatlari kuchaya boradigan normal yulduz spektridan iborat. Bu xususiyatlar spektral chiziqlarni juda ingichkalashib va keskinlasha borib namoyon bo'ladi. Bu yutilish chiziqlari spektrni binafsha qismi tomon siljigan va bu siljish kuzatuvchi tomon yo'nalgan birnecha yuz km/s tezlikdagi harakatga mos keladi.



8-rasm. Yangi yulduz yorug'ligini o'zgarish chizig'i shakli.

Maksimumdan keyin spektrda keskin o'zgarishlar ro'y beradi: qisqa to'lqinli tomoniga absorbsion (yutilish) chiziqlar yopishib turgan ko'plab emission polosa (tasma)lar paydo bo'ladi. Absorbsion chiziqlarga endi 1000 km/s dan ortiq harakat mos keladi. Maksimumdan keyin, yangi yorug'ligi 5-6^m birlikkacha kamaygach tutash spektr juda xira, yulduzning spektri qaynoq gaz spektriga o'xshash emission chiziqlardan iborat. Bu paytda yangi spektri Volf-Raye yulduzlarinikiga o'xshaydi; chaqnashning oxirgi brsqichida emission chiziqlar yo'qoladi va yangi yorug'ligini pasayishiga mos keladigan tutash spektrga ega bo'lib qoladi.

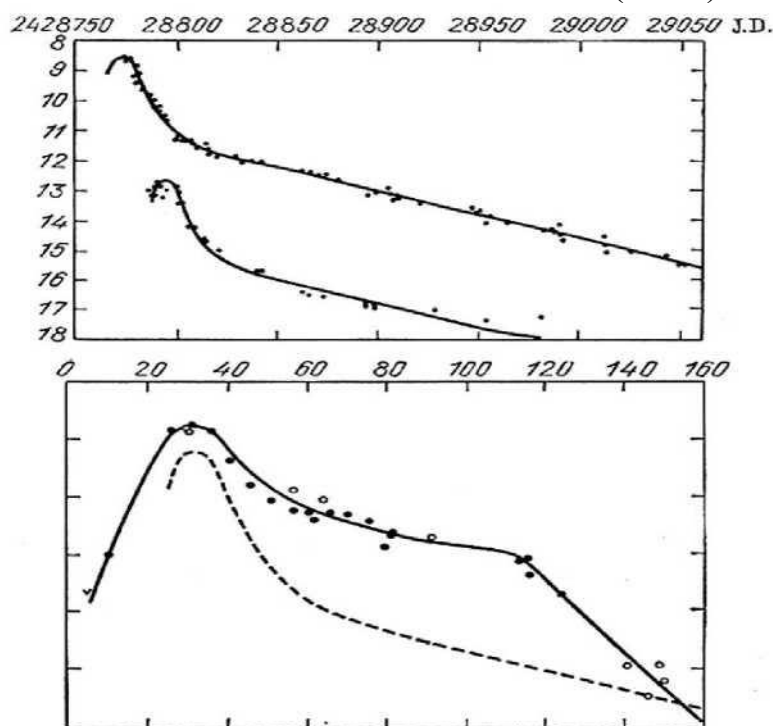
Maksimumdan keyin yangi spektrini Volf-Raye yulduzlar spektriga o'xshashligi ularga qobug'i tez (1500 km/s gacha) kengayayotgan yuduz statusini berishga imkon beradi. Maksimumdan keyin yangi spektrida N, SaII, Ni, FeII, TiII, OI va Ci absorbsion chiziqlari kuzatiladi. Bu yangining bosh yutilish spektridir. Bulardan tashqari spektrda ta'qiqlangan chiziqlar [OI] 115577, 6300, 6363, [NII] 15755 shuningdek kuchaygan HeI15876 chiziq kurinadi. Bosh spektr-diffuz-chaqmoq spektrga aylanadi (chiziqlar keng, yoyiq u_N 1500 km/s). Yagini yorug'ligi 3.5^m birlikka pasaygach yangini yutilish spektri V sinfga mansub yulduzlarnikiga o'xshaydi. Bundan keyin yulduz o'tish fazasiga tushadi: bunda yoki yulduz yorug'ligi kichik tebranishlar ko'rsata boshlaydi yoki 5^m birlikka keskin pasayib ketadi.

Yangi yorug'ligi va spektrini o'zgarishini "yulduz shishadi va yoriladi" deb tushuntirish mumkin. Haqiqatdan chaqnash boshlanishida uning yorug'ligini ortishi va spektrini dyarli o'zgarmasligini uning radiusini kattalashishi yoki yulduzni yetarli darajada qalin ($r \gg 1$) qobug' qatlamini kengayishi bilan tushuntirish mumkin. Yulduz diametri Quyoshnikidan bir necha yuz marta kattalashgach, qobug' yupqalashadi va bir necha bulutsimon bo'laklarga bo'linib ketadi. Bu bo'laklar 35

yulduzdan barcha tomonga o'zoqlasha boshlaydilar. Yulduzdan ketma-ket bir necha qobug' qatlamlar uzilib chiqadi va kenyadi. Yulduz atrofida tumanlik hosil bo'ladi. Chaqnash natijasida yangi yulduzning 10^{-4} - $10^{-5}m_{\odot}$ massasi fazoga uloqtirib yuboriladi, yoki uning atrofida gaz tumanlik hosil bo'ladi.

Ayrim yangilar zich qo'shaloq ekanligi aniqlangan. Misol uchun Gerkules yulduz turkumida 1934 y. da chaqnagan yangi NHer 1934 to'silma qo'shaloq bo'lib yorug'ligini o'zgarish amplitudasi 2^m birlik davri $4^h 39^m$ —qisqa. Shunday ko'rsatshichga ega yangilar T-Aur ($B=4^h 54^m$), V603 Agl ($3^h 20^m$). Bu yangilarni massasi kam degan xulosaga olib keladi: $m=(0.87\pm0.33)m_{\odot}$

b) O'ta yangi (SN) yulduzlar. o'tayangi (SN) chaqnashi natijasida ajralib chiqadigan energiya butun bir galaktika sochayotgan energiyaga yaqin bo'ladi. 1885 yilda Andromeda tumanligida kuzatilgan N5 6^m yulduziy kattalikka ega bo'lgan. Solishtirish uchun Andromeda tumanligi yig'ma yorug'ligi 4.4^m . Masimumda SN larni absolyut kattaligi o'rtacha $M_v=-15^m$, ya'ni yangilarnikidan 7^m birlikka yuqori. Ayrim o'tayangilar maksimumda $M_v=-20^m$ ga yetadi bu Quyoshnikidan 10 mlrd. marta ortiq demakdir. Bizning Galaktikada oxiri 1000 yil ichida uch marta (1054 y. da Savrda, 1572 y. da Kassiopeyada, 1604 y. da Iloneltuvchida) SN chaqnagan. 1670 yilda Kasseopeyada chaqnagan o'tayangi tasodifan qayd qilinmagan. Hozir bu yulduz atrofida gaz tumanlik kuzatiladi va kuchli radionurlanish (CasA) sochiladi¹⁰.



9-rasm. SNI(a) va SNII(b) turdagi o'ta yangilarni yorug'ligini o'zgarish chizig'i.

Boshqa galaktikalarda ko'plab SN kuzatilgan. o'rtacha har bir galaktikada 200 yilda bitta SN chaqnaydi. 1957-61 yillarda o'tkazilgan maxsus xalqaro patrul natijasida 42 o'tayangi kashf etildi. Hozirgacha o'tayangilar soni 500 dan oshdi.

Yorug'ligini o'zgarish egrisiga ko'ra SN larni ikki turga bo'lish mumkin: SNI

10

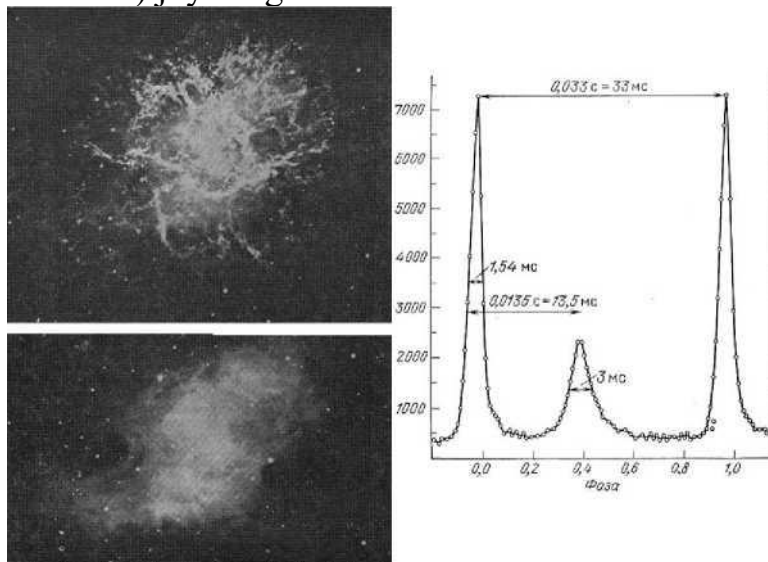
T. Padmanabhan, Theoretical Astrophysics, Volume II, Cambridge University Press, 2010.

va SNII.SNI-maksimumi tez (bir hafta) o'tadi va undan keyingi 25 kun ichida yorug'ligi kuniga 0.1^m dan kamaya boradi. Shundan keyin yorug'ligini pasayishi sekinlashadi (4 rasm) va shu tarzda to yulduz qayd qilib bo'lmaydigan darajagacha xiralashguncha bir xil surat kuniga (0.014^m dan) bilan so'nadi. SN ni yorug'ligi eksponensial tarzda 55 kunda ikki marta kamaya boradi. Savr yulduz turkumida 1054 yilda chaqnagan yulduz maksimumida $m_v = -5^m$ kattalikka yetgan va bir oy davomida kunduzi ko'ringan, u kechasi 2 yil davomida teleskopsiz oddiy ko'zga ko'rinib turgan. SNI maksimumda $M_p = -19^m$, yorug'ligini o'zgarish amplitudasi $A = -20^m$.

SNII-ning yorqinligi pastroq: maksimumda $M_p = -17^m$, (A-noma'lum) va shu darajada bir necha vaqt (20 kun) turadi. Undan 100 kun keyin har 20 kunda 1^m birlikka kamaya boradi (4 rasmda b). SN lar galaktika tekisligi chegaralari yaqinida kuzatiladi. SNI-ixtiyoriy shakldagi galaktikalarda, SNII-faqat spiral galaktikalarda kuzatiladi.

SNI spektri yangilarnikidan butunlay farq qiladi. Spektridagi keng emission tasmalar hech bir element atomi chiziqlarga mos kelmagandan bu tasmalar chiziq emas balki tutash spektr sohalaridir. Ularni ajratib turuvchi qora sohalar kengaygan va siljigan yutilish chiziqlari degan xulosaga kelindi (E.R. Mustel, Yu.P. Pskovskiy, Rossiya). Bu qora tasmalarni tekshirish natijasida SNI paytida yulduzdan massasi $0.3 m_{\odot}$ bo'lgan qobug' ajraladi va $15\,000\text{ km/s}$ tezlik bilan kengaya boshlaydi. Tezliklar keng oraliqni egallaydi. Qobug' bo'laklarga ajralib ketgan. SNII-spektri oddiy yangi yulduzlar spektriga o'xshash: qisqa to'liqli tomoniga yutilish chizig'i yopishib turgan keng emission tasmalardan iborat. Vodorod chiziqlari intensiv. SNI- vodorodi yonib tugagan yulduzlardir. SNII-esa yosh yulduzlardir¹⁰.

SN chaqnashi natijasida chaqnagan yulduz atrofida gaz tumanlik hosil bo'ladi. SN 1054 -o'rnida Qisqichbaqasimon tumanlik sifatida ko'rinadi. SN 1054 va SN 1572 (Kassiopeya) o'rnida hozirgi kunda kuchli radionurlanish manbalari (TauA va CasA) joylashgan.



¹⁰Arnab Rai Choudhuri, Astrophysics for Physics, Cambridge University Press, 2010, 471 p.

10-rasm. Qisqichbaqasimon tumanlik va uning ichida kuzatiladigan pulsarning intensivligini o'zgarish chizig'i.

Qisqichbaqasimon tumanlik 16^m kattalikdagi ichida qo'shaloq yulduz joylashgan. Yulduzlarni bari quyi spektral sinfga mansub ikkinchisi esa juda qaynoq, kuchli ultrabinafsha rang ortiqlikka ega yulduz. Bu yulduz radio va rentgen

diapozonlarda impulsar tariqasida nurlanish sochadi. Impulsar oralig'i –davri 0.033 sek. Bu neytron yulduz bo'lib o'q atrofida tez aylanishi (sekundiga 33 marta) natijasida pulsar sifatida ko'rinadi. NP 0532 raqam bilan ro'yxatga olingan bu pulsarni davri sistematik ravishda ortib bormoqda (aylanish tezligi kamaymoqda): 2500 yilda 2.7 marta. Bunday sekinlashuv energiyani 10^{38} erg/s ga kamayishini ko'rsatadi. (Rasm-5).

Yulduzlarning tarkibi

Yulduzlarning fizik xarakteristikalarini, ichki tuzilishini va kimyoviy tarkibini vaqt bo'yicha o'zgarishi yulduzni evolyusiyasi yoki rivojlanish jarayonida o'zgarishi deb ataladi. Stasionar holatdagi yulduz bugidrostatik (gravitasion kuch ichki bosim kuchiga teng) va energetik (atrofga sochilayotgan nuriy energiya yulduz o'zagida ajralayotgan energiyaga teng) muvozanatdagi gaz (plazma) shar. Yulduzni «tug'ilishi» bu atrof fazoga sochilayotgan energiyasini o'zining ichki energiya manbai isobiga to'ldirib turuvchi gidrostatik muvozanatdagi ob'yektning hosil bo'lishidir. Yulduzni «o'lishi» bu tiklanmaydigan muvozanatni buzilishi yoki uni halokatli holatda siqilishidir¹¹.

Yulduz sirtidan energiya sochilishi uning ichki qatlamlarini sovishi, uni siqilishi natijasida ajralib chiqayotgan gravitasion potensial energiya yoki yadro reaksiyalar hisobiga ro'y berishi mumkin. Sovish va gravitasion siqilish, masalan, Quyoshni 10 million yil hozirgi kundagidek nurlanish sochib turishi uchun yetadi. Holbuki, Quyosh bilan birga hosil bo'lgan Yerning yoshi 4.5 milliard yilga teng, demak uning energiyasi siqilish energiyasi emas.

Yulduzning evolyusiyasi boshidan oxirigacha kuzatib bo'lmaydigan juda uzoq davom etadigan jarayon. Shuning uchun, yulduz evolyusiyasini tekshirishda har xil massaga ega yulduzlarning ichki tuzilishi va kimyoviy tarkibini vaqt bo'yicha o'zgarishini namoyish etuvchi evolyusion modellarni tuzish usuli qo'llaniladi. Bu evolyusion modellar kuzatish natijalari, masalan, har xil evolyusiya bosqichidagi ko'plab yulduzlarning yorqinligi bilan temperaturasini bog'lovchi Gershprung-Rassel diagrammasi bilan solishtiriladi va bu yulduzni evolyusion ketma-ketlikda o'rnini aniqlashga yordam beradi. Bu usul yulduz to'dalari (tarqoq va sharsimon) uchun qo'llanilganda ayniqsa yaxshi natija beradi. Chunki to'da a'zolari bir vaqtda bir xil kimyoviy tarkibdagi tumanlikdan hosil bo'lganlar.

Yulduzlarni evolyusion ketma-ketliklari ularning ichida massani, zichlikni, temperaturani va yorqinlikni ifodalovchi differensial tenglamalarni gazlarning holat tenglamasi, energiya ajralish qonunlari, ichki qatlamlarni notiniqligini hisoblash formulalari va bu qatlamlarning kimyoviy tarkibini vaqt bo'yicha o'zgarish tenglamalari bilan birgalikda yechiladi.

Yulduzlarni hosil bo'lishida gravitasion siqilish bosqichi.

Eng keng tarqalgan qarashga ko'ra yulduzlar yulduzlararo muhitdagi moddani kondensatsiyalanishi natijasida hosil bo'ladilar. Buning uchun yulduzlararo muhit ikki bosqichni o'tishi zarur: zich sovuq bulut va yuqoriroq temperpturadagi siyraklashgan muhit. Birinchi bosqich yulduzlararo muhitdagi magnit maydonda

¹¹Arnab Rai Choudhuri, *Astrophysics for Physics*, Cambridge University Press, 2010, 471 p.

Reley-Teylor noturg'unligi tufayli ro'y bersa ikkinchisiga zich bulut moddasini kosmik va rentgen nurlar tomonidan ionlantirish natijasida ro'y bergan issiqlik noturg'unligi sabab bo'ladi. ²aqiqatdan massasi $\rho = (10^5 - 10^6) \rho_0$ (ρ_0 - Quyosh massasi) teng, o'lchamlar 10 – 100 parsek, zarra konsentratsiyasi $n = 10^8 \text{ m}^{-3}$ bo'lgan chang+gaz komplekslar kuzatiladi. Bunday komplekslar siqilishi uchun ularda zarralarning gravitasion bog'lanish energiyasi zarralarning issiqlik harakati, bulutning yaxlit holda aylanish energiyalar yig'indisidan kata bo'lishi kerak (Jins kriteriyasi). Agar faqat issiqlik energiyasi hisobga olinsa Jins kriteriyasiga ko'ra hosil bo'lgan bulutning massasi

$$\rho > \rho_j = 150 T^{2/3} n^{-1/2} \rho_0,$$

bo'lishi kerak. Bu yerda T - kelvinlarda hisoblangan temperptura, n – bir sm^3 da zarra konsentratsiyasi. Gaz+chang bulutlar uchun hozirgi zamonda aniqlangan T va n larda ularning massasi $\rho > 10^3 \rho_0$ bo'lishi kerak¹².

Jins kriteriyasiga ko'ra massasi hozir ma'lum bo'lgan oraliqdagi ($0.01 - 100 \rho_0$) yulduz hosil bo'lishi uchun siqilayotgan bulutda $n = 10^3 - 10^6 \text{ sm}^{-3}$ bo'lishi kerak. Bu gaz+chang bulutlarda kuzatilayotgandan 10 – 100 - marta ko'p demakdir. Biroq bunday zarralar konsentratsiya bulut o'zagida bo'lishi mumkin. Demak massiv bulutda ketma-ket ro'y beradigan bo'laklarga ajralish natijasida yulduz hosil bo'lishi mumkin. Bu yulduzlar to'lda holda paydo bo'ladi, degan xulosa qilishga imkon beradi.

Keyinchalik kollaps natijasida yulduzga aylanadigan ob'yekt (bulut bo'lagi) protoyulduz deb ataladi. Bunda magnit maydonsiz va aylanmaydigan sferik simmetrik protoyulduz birnecha bosqichlarni bosib o'tadi. Dastavval birjinsli va izotermik bulut o'zining issiqlik nurlanishi uchun tiniq va kollaps energiya yo'qotish natijasida boshlanadi. Chang gaz zarralarini kinetik energiyasi hisobiga issiyboshlaydi va unda energiya issiqlik uzatuvchanlik natijasida tarqalaboshlaydi va protoyulduzni tashqi chegarasidan issiqlik nurlanishi sifatida fazoga sochiladi (energiya yo'qotish). Birjinsli bulutda bosim gradiyenti yo'q va siqilish erkin tushish sifatida boshlanadi. Siqilish boshlangandanoq bulutda tovush tezligida uning markazga tomon tarqaladigan siyraklashish to'lqini hosil bo'ladi. Chunki kollaps zichlik yuqori joyda tez, natijada protoyulduz kuyuq o'zakka va keng siyrak qobuqqa ajraladi. o'zakda zarra konsentratsiyasi 10^{11} sm^{-3} ga yetgach u o'zining infraqizil nurlanishi uchun notiniqlashadi. o'zakda ajralayotgan energiya uning sirtiga nuriy yo'l bilan chiqaboshlaydi. Temperatura adiabatik ko'tarila boshlaydi va bu bosimni ko'tarilishiga olib keladi va o'zak gidrostatik muvozanatga o'tadi. Qobuq moddasi o'zakka tushishini dovom etadi va o'zak chetida zarb to'lqini hosil bo'ladi. Bu paytda o'zak parametrlari protoyulduz massasiga kam bog'liq va uning massasi, radiusi, zichligi, va temperaturasi quyidagicha

$$\rho_0 = 5 \cdot 10^{-3} \rho_0, \Gamma_0 = 100 R_\odot, p = 2 \cdot 10^{-10} \text{ g/sm}^3, T = 200 \text{ K}.$$

Qobug'dan o'zakka modda tushishi (akkresiya) natijasida uning temperaturasi 2000 K ga yetguncha adiabatik ko'tariladi. Temperatura 2000 K ga yetgach vodorod molekullari parchalanaboshlaydi va adiabata ko'satqichi $4/3$ dan kamayadi. Bu holatda bosimning o'zgarishi gravitatsiya kuchlarini yengishga yetmaydi. o'zak yana

¹² Max Camenzind, Compact Objects in Astrophysics, Springer, 2007, 682 p.

siqiladi (kollaps) va uning parametrlari endi quyidagicha

$$\rho_0 = 5 \cdot 10^{-3} \rho_\odot, \Gamma_0 = 1 R_\odot, p = 2 \cdot 10^{-2} \text{ g/sm}^3, T = 2 \cdot 10^4 \text{ K}.$$

Qobug'dan o'zakka modda akkrektsiyasi davom etadi, temperaturani ko'tarilishi davom etadi. Endi o'zakda vodorodni ionlanishi boshlanadi va yuqoridagi o'zakni qayta tuzilishi ro'y beradi.

O'zakniqobug' hisobiga kattalashuvi qobug'da modda tugaguncha davom etadi. Qobug' moddasining bir qismi yulduzning nuriy bosimi ta'sirida fazoga tarqalib ketadi, o'zak va qobug'dan iborat yulduzlar IQ nur manbai sifatida kuzatiladi. Qobug' optik yupqa bo'lgach protoyulduz yulduz maqomiga ega ob'yekt sifatida kuzatiladi. Ayrim massiv yulduzlarda qobug' o'zakda yadro reaksiyalari boshlanguncha qoladi. Protuyulduz kollapsi $10^5 - 10^6$ yil davom etadi. o'zak tomonidan yoritilayotgan qobug' qoldiqlari yulduz shamoli ta'sirida tezlatiladi. Bunday ob'yektlar Xerbig - Aro obektlari deb ataladi. Kam massadagi yulduzlar ko'rinaboshlaganda ular Savrning T – si singari xususiyatlarga ega bo'ladi.

Gidrostatik muvozanatdagi kam massaga ega yulduzlar o'zagidan energiya konveksiya yo'li bilan chiqadi. Massasi Quyoshnikining uchdan biridan ko'p yulduzlar o'zagida nuriy muvozanat qaror topadi. Massasi uch Quyosh massasidan ko'p yulduzlar o'zagida nuriy muvozanat tezda shakillanadi.

1. yadro reaksiyalari asosida yulduz evolyusiyasi.

Dastlabki yadro reaksiyalar taxminan million K temperaturada deyteriy, litiy va bor ishi bilan boshlanadi. Bu elementlarni dastlabki miqdori shu darajada kam ularning yonishi amalda protoyulduz siqilishini to'xtatolmaydi. Yulduz markazida temperatura $\cong 10^7$ K ga yetganda va vodorodni yonishi boshlanganda uni gravitasion siqilishi to'xtaydi. Chunki faqat vodorodni yonish energiyasi yulduz fozoga sochayotgan energiyani to'ldirib turish uchun yetarli. o'zagida vodorodni yonishi boshlangan birjinsli yulduzlar G-D da dastlabki bosh ketma-ketlikni (BKK) tashkil qiladi. Massiv yulduzlar BKK ga kam massalilarga qaraganda tezroq tushadilar. BKK ga tushgandan boshlab yulduz evolyusiyasi yadrolarni yonishi asosida (yadroviy bosqichlar jadvalda keltirilgan) boradi.

2-jadval. Yadroviy yulduz evolyusiyasining asosiy bosqichlar

Yadroviy yoqilg'i	Yonish mahsuloti	Yonish temperaturasi, K	Energiya chiqarish, erg/g	Energiyani olib ketuvchi zarra	Dovomiy yiligi, yulduz yoshi foizlarida
-------------------	------------------	-------------------------	---------------------------	--------------------------------	---

H	He	(1	$7 \cdot 10^{18}$	foto	= 90 %
He	C, O	) $\cdot 10^7$		nlar fotonlar	< 10
C	Ne,	2*	$7 \cdot 10^{17}$	neyt	< 1
Ne	Na, Mg	10^8		rino	< 1
O Si	O,		$5 \cdot 10^{17}$	neyt	< 1
	Mg	$1 \cdot 10^9$		rino	< 1
	Si -	$1.3 \cdot 10^9$	$1 \cdot 10^{17}$	neyt	
	Ca	$1.8 \cdot 10^9$		rino	
	Sc-	$3.4 \cdot 10^9$	$5 \cdot 10^{17}$	neyt	
	Ni		$3.4 \cdot 10^{17}$	rino	
Ya	Yoni	Yonish	Ene	Ener	
droviy	sh mahsuloti	temperaturasi, K	rgiya	giyani olib	Dovomi
yoqilg'i			chiqarish,	ketuvchi	yiligi, yulduz
			erg/g	zarra	yoshi foizlarida

Temperatura $< 18 \cdot 10^6$ bo'lganda proton-proton sikli, undan yuqori bo'lganda uglerod-azot sikli (CNO) asosiy energiya manbai bo'ladi. Eng massiv yulduzlarda massaning 50% konveksiyalanadi. Vodorodni to'la yonish vaqti massasi $\sim 1 \cdot 10^6$ bir quyosh massasiga teng yulduzlarda 10^{10} yil, $\sim 50 \cdot 10^6$ - yulduzlarda $3 \cdot 10^6$ yil. Jadvaldan ko'rinib turapti, boshqa reaksiyalar hisobiga yulduzni yashash vaqti umumiy yashash vaqtini 10% dan oshmaydi. Shuning uchun G-D diagrammada ko'pchilik yulduzlar o'rni bosh ketma-ketlikdir (BKK). Vodorodni yonishi o'zak moddasini o'rtacha molekulyar massasi oshiradi, gidrostatik muvozanat uchun markazda bosim va temperatura ko'tariladi, yorqinlik oshadi, qobug' tiniqlashadi. Katta miqdordagi energiya yo'qotishni taminlash uchun o'zak siqilaboshlaydi, qabug' esa kengayaboshlaydi. G-D diagrammada yulduz BKK dan o'nga siljiydi. Massasi katta yulduzlar BKK ni birinchilar qatori tark etadi. $\sim 15 \cdot 10^6$ yulduzlarni BKK da bo'lish vaqti 10 mln yil, $\sim 5 \cdot 10^6$ larniki - 70 mln yil va $\sim 1 \cdot 10^6$ larniki 10 milliard yil.

v) yulduz evolyusiyasining oxirgi bosqichi. Massasi $> 5 \cdot 10^6$ bo'lgan yulduzlarning markaziy qismlarida jadvalda ko'rsatilgan barcha reaksiyalar ro'y berishi mumkin. Temir o'zakni hosil bo'lishi ayrim hollarda undan ham oldin gidrostatik muvozanat yo'qotilishi mumkin va gravitasion kollaps ro'y beradi. Kollaps natijasida zichlik 10^{12} g/sm^3 ga yetadi va modda neytrallashadi¹³. Agar $< 2 \cdot 10^6$ bo'lsa aynigan gaz va $y = 5/3$ da bosim va tortishish tenglashadi. Aks holda kollaps cheksiz va yulduz qora o'raga aylanadi. Kollaps to'xtatilganda neytron yulduz sirtida zarb to'lqin ro'y beradi va u tashqi tomon tarqaladi va qobuqni uloqtirib yuboradi (o'tayangi yulduz).

Yulduzlarda metallarning o'rni

Qora tuynuklar – bu fazo-vaqtning shunday soxasiki, kuchli gravitasion maydon hisobiga u yerni xatto yorug'lik tezligida xarakatlanuvchi zarralar, shuningdek yorug'lik kvantlari ham tark eta olmaydilar. Ushbu sohaning chegarasi xodisalar gorizonti deb ataladi, uning o'lchami esa gravitasion radius deyiladi. Eng

sodda holda – sferik-simmetrik qora tuynuklar uchun ushbu o'lcham Shvarsschild radiusiga teng. Nazariy jixatdan bunday ob'yektlarning mavjudligi Eynshteyn tenglamalarining ba'zi aniq yechimlari tomonidan kelib chiqadi. Bunday yechimlarning birinchisi Karl Shvarsschild tomonidan 1915 yili topilgan¹⁴.

Zamonaviy fan bizgaso'nuvchi massiv yulduzlar bilan bog'liq ko'pgina hayratomus hodisalarni tanishtiradi. Ularni million yillar davomida saqlab kelgan yonilg'isining yetarli bo'lmay qolishi bilan yulduz ortiq muvozanat holatini saqlab qola olmaydi va o'z og'irligi ta'sirida markazi tomon siqiladi, ya'ni kollapsga uchraydi. Inson hayotiga o'hshab yulduzlar ham o'zining yashash sikliga ega. Ular chang bulutlarida tug'iladi, o'sadi va million yillar yorug'lik sohibi parlanadi va o'ladi. Yulduz o'zining dastlabki bosqichlarida hosil bo'lgan vodoroddan, keyin bosqichlarda geliydan va nihoyat og'ir elementlardan iborat ichki yonilg'isi xisobiga yorug'lik sochadi.

Nazorat savollari:

2. Yulduzlar evolyusiyasi: asosiy tushunchalar.
3. Yulduzlarda metallarning o'rni
4. Gravitasion kollaps
5. Gersshprung-Rassel diagrammasi
6. Yadro reaksiyalari asosida yulduz evolyusiyasi.
7. Yulduz evolyusiyasining oxirgi bosqichi.
8. Yulduzlarning tarkibi
9. Yulduzlarni aylanishi va magnit maydoni.
10. Garvard spektral sinflashtirishning fizik asoslari.

3-MAVZU: Kompakt gravitatsion obyektlar. Qora o'ralar, neytron yulduzlar. Qora o'ralar va ularning tiplari. Chandrasekar va Opengeymer-Volkov chegaralari. (2 coar).

REJA:

1. Qora tuynuk tushunchasi va uning fizikaviy mohiyati.
2. Qora tuynuklarning turlari va hosil bo'lish jarayoni.
3. Qora tuynuklarning atrof-muhitga ta'siri va kuzatish usullari.
4. Qora tuynuklar va zamonaviy fizika muammolari

Qora tuynuk tushunchasi va uning fizikaviy mohiyati

1. Qora tuynuk tushunchasi

Qora tuynuk – bu fazo-vaqtning shunday sohasi bo'lib, unda tortish kuchi shu qadar kuchliki, hatto yorug'lik ham undan qochib qutula olmaydi. Bu obyektlar umumiy nisbiylik nazariyasi asosida Albert Eynshteyn tomonidan bashorat qilingan bo'lib, keyinchalik ilmiy kuzatuvlar orqali tasdiqlangan.

Qora tuynuk chegarasi "**voqealar gorizonti**" deb ataladi. Ushbu chegara ichiga kirgan hech qanday narsa, hatto yorug'lik ham, tashqariga chiqa olmaydi. Shuning uchun ham bu obyekt "qora" deb ataladi.

¹⁴

James B. Hartle, Gravity: An Introduction to Einstein's General Relativity, Pearson Education Ltd., 2013, 554 p.

2. Qora tuynuklarning hosil bo'lishi

Qora tuynuklar odatda massasi juda katta bo'lgan yulduzlarning gravitatsion kollapsi natijasida hosil bo'ladi. Yulduz o'zining termoyadro yoqilg'isini tugatgach, o'z og'irligi ostida siqila boshlaydi. Agar yulduzning massasi yetarlicha katta bo'lsa (taxminan 3-5 quyosh massasi yoki undan ko'p), u oxir-oqibat qora tuynukka aylanadi.

Bundan tashqari, quyidagi yo'llar orqali ham qora tuynuklar shakllanishi mumkin:

- **Ibtidoiy qora tuynuklar** – Koinotning dastlabki bosqichlarida hosil bo'lgan.
- **Supermassiv qora tuynuklar** – Galaktikalarning markazida joylashgan ulkan qora tuynuklar.
- **Ikkilik tizimdagi qora tuynuklar** – Ikki yulduzli tizimlarda modda almashinuvi natijasida hosil bo'lishi mumkin.

3. Qora tuynuklarning fizikaviy xususiyatlari

Qora tuynuklar uchta asosiy fizikaviy parametr bilan tavsiflanadi:

1. **Massa (M)** – Qora tuynukning og'irligi va uning gravitatsion maydonining kuchliligini aniqlaydi.
2. **Burchak impulsi (J)** – Qora tuynukning aylanish tezligini ifodalaydi.
3. **Elektr zaryadi (Q)** – Garchi ko'pchilik qora tuynuklar zaryadsiz bo'lsa-da, nazariy jihatdan ular elektr zaryadga ega bo'lishi mumkin.
4. **Qora tuynuklar turlari**
 - **Shvartsschild qora tuynugi** – Zaryadsiz va aylanishsiz qora tuynuk.
 - **Kerr qora tuynugi** – Aylanayotgan qora tuynuk.
 - **Rayssner-Nordstrom qora tuynugi** – Zaryadlangan qora tuynuk.

- **Kerr-Nyuman qora tuynugi** – Aylanuvchi va zaryadlangan qora tuynuk.

5. Qora tuynuklarning astrofizik kuzatuvlari

Qora tuynuklarni bevosita ko‘rib bo‘lmaydi, chunki ular nurlanish chiqarmaydi. Lekin ularni quyidagi usullar bilan aniqlash mumkin:

- **Gravitatsion ta’sir** – Ularning atrofdagi jismlarga ta’siri bo‘yicha hisoblab chiqiladi.

- **Akkretsion disk** – Qora tuynuk atrofida gaz va chang aylanganida yorqin nurlanish hosil qiladi.

- **Gravitatsion linzalanish** – Qora tuynuk yaqinidagi yorug‘lik nurlarining egilishi.

- **Gravitatsion to‘lqinlar** – Ikkita qora tuynuk birlashganda hosil bo‘ladigan to‘lqinlar.

2019-yilda **Event Horizon Telescope (EHT)** loyihasi M87 galaktikasi markazidagi supermassiv qora tuynuk tasvirini yaratib, ushbu obyektlarning real mavjudligini isbotladi.

6. Qora tuynuklarning zamonaviy tadqiqotlari

Hozirda qora tuynuklar kvant gravitatsiya, informatsiya paradoksi va koinotning kelajagi bilan bog‘liq muhim nazariyalarda katta ahamiyatga ega. Stiven Xoking tomonidan ilgari surilgan **Hoking nurlanishi** nazariyasiga ko‘ra, qora



tuynuklar asta-sekin bug‘lanishi va oxir-oqibat yo‘q bo‘lib ketishi mumkin.

Rasm: qora tuynukning realistik tasviri! Unda voqealar gorizonti, yorqin akkretatsion disk va gravitatsion linzalanish efekti aks ettirilgan.

7. 2. Qora tuynuklarning turlari va hosil bo'lish jarayoni.

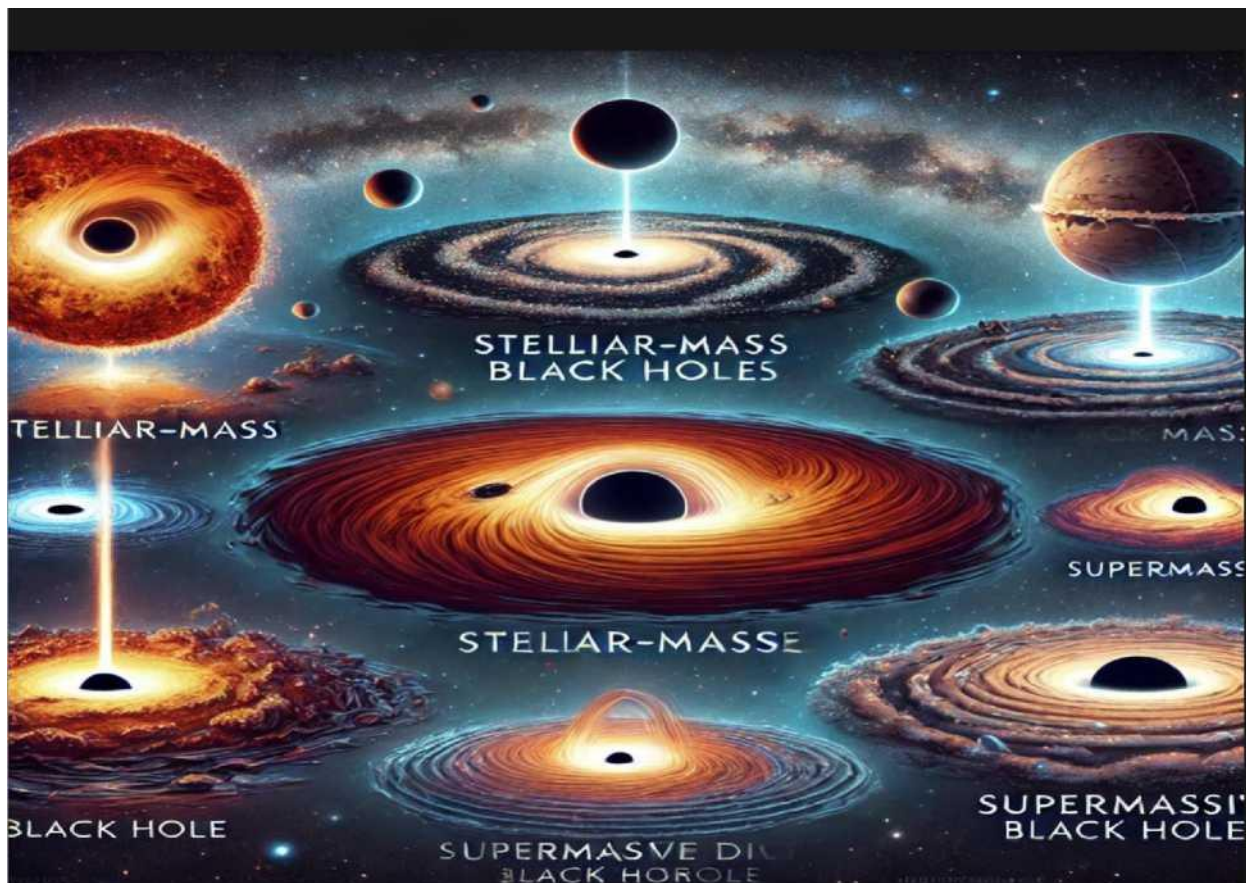
Qora tuynuk tushunchasi

Qora tuynuk – bu fazoning shunday sohasi bo'lib, uning gravitatsiyasi shu qadar kuchliki, hatto yorug'lik ham undan qochib qutula olmaydi. Qora tuynukning

chegarasi "**Gorizont hodisalar**" deb nomlanadi va u orqali ichkariga tushgan narsa qayta chiqib keta olmaydi.

Qora tuynuklarning turlari

Qora tuynuklar massasiga va hosil bo'lish mexanizmiga qarab bir necha turga bo'linadi:



Rasm: turli xil qora tuynuklarning ilmiy tasviri!

1. Yulduz massali qora tuynuklar

- Bu turdagi qora tuynuklar katta massali yulduzlarning gravitatsion kollapsi natijasida hosil bo'ladi.

- Odatda, bunday qora tuynuklarning massasi **3-100 quyosh massasi** atrofida bo'ladi.

- Misol: Cygnus X-1, V404 Cygni.

2. Oraliq massali qora tuynuklar

- Ularning massasi **100 dan 100 000 quyosh massasi** gacha bo'lishi mumkin.

- Hosil bo'lish sabablari hali to'liq tushuntirilmagan, lekin kichik qora tuynuklarning birikishi yoki yirik yulduzlar to'qnashuvi natijasida paydo bo'lishi mumkin.

- Misol: Omega Centauri yulduz to'plamidagi ehtimoliy qora tuynuk.

3. Ultraboyoq massali qora tuynuklar (supermassiv qora tuynuklar)

- Ularning massasi **million yoki milliardlab** quyosh massasiga teng bo'lishi mumkin.

- Ko'pchilik galaktikalarning markazida joylashgan.

- Hosil bo'lishi haqida turli nazariyalar mavjud, jumladan, mayda qora

tuynuklarning birikishi va juda katta gaz bulutlarining to'planishi.

o Misol: **Sagittarius A*** (Samoviy yo'l galaktikasining markazidagi qora tuynuk), *M87 qora tuynugi*.*

4. Mikro yoki ibtidoiy qora tuynuklar

o Ushbu qora tuynuklar **katta portlash** davrida hosil bo'lishi mumkinligi taxmin qilinadi.

o Ularning massasi juda kichik bo'lishi mumkin, hatto atom zarralari darajasida.

o Hozirgacha kuzatilmagan, lekin ba'zi fizik nazariyalar mavjudligini taxmin qiladi.

Qora tuynuklarning hosil bo'lish jarayoni

1. Katta massali yulduzning evolyutsiyasi

o Yulduz termoyadro yoqilg'isini tugatgandan so'ng, uning yadrosi tortish kuchi ta'sirida o'z-o'zidan siqila boshlaydi.

o Siqilish bosqichida yulduz supernova portlashi yoki bevosita kollapsga uchrashi mumkin.

2. Neytron yulduz yoki qora tuynuk?

o Agar yulduz yadrosi **Tolman-Oppenheimer-Volkoff chegarasi** (taxminan 2-3 quyosh massasi) dan kichik bo'lsa, u neytron yulduz hosil qiladi.

o Agar u bundan kattaroq bo'lsa, gravitatsion kollaps davom etadi va qora tuynuk yuzaga keladi.

3. Gorizont hodisalarning shakllanishi

o Juda zich bo'lgan holatda yorug'lik tezligi ham qochib qutula olmaydigan nuqta – **gorizont hodisalar** shakllanadi.

o Qora tuynukning markazida **singulyarlik** – cheksiz zichlikka ega nuqta mavjud bo'ladi.

O'TA MASSIV QORA TUYNUKLAR

Qora tuynuklarning ilk surati Astronomlar insoniyat tarixida birinchi marta **qora tuynukning fotosuratini olishga** muvaffaq bo'lishdi. Bu tasvir Yerning turli qit'alarida joylashgan **sakkizta radioteleskop** – Shimoliy Amerika, Havo orollari, Yevropa, Janubiy Amerika va Janubiy qutbga o'rnatilgan kuzatuv tizimlari yordamida olindi. Tasvirga tushirilgan qora tuynuk **Messier 87 (M87)** galaktikasi markazida joylashgan bo'lib, u o'z tarkibida **200 milliardlab yulduzlarni** tutib turadi. M87 galaktikasi **Yerga 55 million yorug'lik yili** masofada joylashgan. Bu shuni anglatadiki, **yorug'lik tezligi (sekundiga 300 ming km)** bilan ham qora tuynukka yetib borish uchun **55 million yil** kerak bo'ladi. Olingan tasvirdagi qora tuynuk **Quyosh massasidan 6,5 milliard baravar katta** bo'lib, bu uning nihoyatda ulkan astronomik jism ekanligini tasdiqlaydi. Taqqoslash uchun, **bizning Somon Yo'li galaktikamiz markazida joylashgan Sagittarius A*** qora tuynugi **taxminan 4,5 million Quyosh massasi** bilan M87 qora tuynugidan ancha kichik hisoblanadi. Qora tuynuk atrofidagi yorug' halqa va Doppler beaming effekti Qora tuynuk atrofida kuzatilgan **yorug' halqa** – bu qora tuynukka tushayotgan moddaning rentgen va radio diapazonlarida nurlanishidir. Ushbu halqaning ba'zi qismlari qalinroq va yorqinroq ko'rinadi. Buning sababi – qora tuynuk atrofida harakatlanayotgan plazma **yorug'lik tezligiga juda yaqin tezlikda** aylanadi.

Doppler beaming effekti ga ko'ra, kuzatuvchiga yaqinlashayotgan plazma ancha yorqinroq, uzoqlashayotgani esa xiralashgan bo'lib ko'rinadi. Hozircha tasvirning aniqligi qora tuynukning **o'z aylanish tezligini aniq hisoblash uchun yetarli emas**, lekin bu kashfiyot umumiy nisbiylik nazariyasining yana bir tasdig'i hisoblanadi. Qora tuynuklarning fizik mohiyati va tarixiy rivojlanishi Zamonaviy fizikaning asosiy nazariyalaridan biri – umumiy nisbiylik nazariyasi qora tuynuklarning mavjudligini oldindan bashorat qilgan. 1915-yilda Albert Eynshteyn tomonidan taqdim etilgan ushbu nazariyaga **ko'ra**, gravitatsiya – bu fazo-vaqtning massa ta'sirida egilishi natijasida yuzaga keladi. Har qanday katta massali jism o'z atrofida fazo-vaqtni egri qiladi va uning tortish kuchi qancha katta bo'lsa, egri chiziqlilik ham shuncha kuchli bo'ladi.

Qora tuynuk tushunchasining rivojlanishi

- **1916-yil** – Nemis fizikasi **Karl Shvartssild** Eynshteynning maydon tenglamalari asosida qora tuynukning **matematik modelini** yaratdi.
- **1939-yil** – **Tolman-Oppenheimer-Volkoff chegarasi** nazariyasi orqali aniqlik kiritildi.
- **1960-yillar** – Amerikalik fizik **Jon Archibald Uiler** ushbu jismlarni **"qora tuynuk"** deb atadi.
- **2019-yil** – **Event Horizon Telescope (EHT)** loyihasi birinchi marta qora tuynuk tasvirini oldi.

Qora tuynuklarni kuzatish muammolari va ularni aniqlash usullari

Qora tuynuklardan **yorug'lik ham chiqib keta olmaydi**, shuning uchun ularni kuzatish juda qiyin. Lekin astronomlar bilvosita usullar orqali ularni aniqlashadi:

1. **Akresiya diski va rentgen nurlanishi**
 - Qora tuynukka tushayotgan gaz va chang moddalari **issiq plazmaga aylanishi** natijasida kuchli rentgen nurlanish hosil qiladi.
2. **Gravitatsion linzalash**
 - Qora tuynuk yonidan o'tuvchi yorug'lik **egilib**, g'ayrioddiy tasvir hosil qiladi.
3. **Gravitatsion to'liqlar**
 - **LIGO va Virgo** kabi detektorlar ikki qora tuynukning to'qnashishi natijasida hosil bo'ladigan **gravitatsion to'liqlarni** qayd qiladi.
4. **Yulduzlarning orbital harakati**
 - Qora tuynuk atrofida aylanuvchi yulduzlarning **g'ayrioddiy orbital harakati** ularning mavjudligiga ishora qiladi.

Event Horizon Telescope (EHT) loyihasi va qora tuynukning ilk surati

Qora tuynuklarni kuzatish uchun **bitta ulkan teleskop** qurish o'rniga, **Yerning turli qismlarida joylashgan sakkizta radioteleskopdan** foydalanildi. **EHT loyihasi** 2017-yil aprel oyida **M87 galaktikasi markazini** kuzatdi va ulkan hajmdagi ma'lumotlarni to'pladi.

Olingan ma'lumotlar juda katta hajmga ega bo'lgani uchun internet orqali uzatilmagan. Ular qattiq diskka yozilib, **samolyot va kemalar orqali AQSh va Germaniyadagi ilmiy markazlarga** yetkazildi. Olimlar mustaqil ravishda ushbu

tasvirlarni tiklashdi va nazariy modellar bilan solishtirishdi.

Bu tasvir **umumiy nisbiylik nazariyasining haqiqiylikni tasdiqlovchi birinchi bevosita dalil** bo'ldi.

Qora tuynuk tasvirining ahamiyati

Bu suratning ilmiy va falsafiy ahamiyati juda katta:

1. **Umumiy nisbiylik nazariyasining amaliy tasdig'i** – Eynshteyn nazariyalari haqiqiylikni isbotladi.

2. **Koinot evolyutsiyasini tushunish** – Qora tuynuklar galaktikalar shakllanishida qanday rol o'ynashini aniqlashga yordam beradi.

3. **Odamzotning ilmiy imkoniyatlarini kengaytirish** – Uzoq yillik nazariy bashoratlar endi bevosita eksperimental tasdiqqa ega bo'ldi.

Qora tuynuklarning atrof-muhitga ta'siri va kuzatish usullari.

Qora tuynuklarning atrof-muhitga ta'siri

Qora tuynuklar o'z atrofidagi fazoviy-moddiy muhitga kuchli ta'sir ko'rsatadi.

Ushbu ta'sirlarning asosiy turlari quyidagilardan iborat:

1. Gravitatsion ta'sir

o Qora tuynuk atrofidagi fazoni og'dirib, vaqt va makonning kuchli egilishini hosil qiladi.

o Kuchli gravitatsion maydon tufayli atrofdagi jismlar orbitalarini o'zgartiradi.

o Yaqin atrofdagi yulduz va gaz bulutlarini tortib, ularni akresiya diski orqali yutib yuboradi.

2. Radiatsion emissiya

o Oziqlanayotgan qora tuynuk atrofida hosil bo'luvchi akresiya diski juda yuqori haroratgacha qiziydi va rentgen hamda gamma nurlanish manbai bo'lib xizmat qiladi.

o Kvazarlar kabi faol galaktik yadrolar qora tuynuklar tomonidan quvvatlanadi va ulkan energiyani chiqaradi.

3. Zarralar oqimi va relativistik reaktiv oqimlar (jetlar)

o Ba'zi qora tuynuklar kuchli relativistik jetlar (reaktiv oqimlar) chiqaradi, bu oqimlar galaktik muhitni shakllantirishda muhim rol o'ynaydi.

o Bu jarayon yulduz hosil bo'lish jarayonlariga ta'sir ko'rsatishi mumkin.

4. Moddaning tortilishi va yo'q bo'lishi

o Qora tuynuk yaqinidagi yulduzlar va gaz bulutlari tortib olinishi natijasida modda yo'q bo'lib ketishi yoki juda yuqori tezlikda chiqarib yuborilishi mumkin.

o Bu ta'sir galaktik strukturalarning shakllanishiga ta'sir qiladi.

Qora tuynuklarni kuzatish usullari

Qora tuynuklar o'zlaridan bevosita yorug'lik chiqarmaydi, shuning uchun ularni bilvosita usullar orqali kuzatish mumkin.

1. Gravitatsion ta'sir orqali kuzatish

o **Yulduz orbitalari:** Galaktikamiz markazidagi Sagittarius A* qora tuynugi uning atrofida aylanayotgan yulduzlarning orbitalari orqali aniqlangan.

o **Gravitatsion linzalash:** Qora tuynuklar orqasidagi yorug'likni egib, uning tasvirini deformatsiya qiladi.

2. Elektromagnit nurlanishi orqali kuzatish

o **Rentgen va gamma nurlari:** Qora tuynukning akresiya diskidan kelayotgan

yuqori energiyali nurlanishni kosmik teleskoplar yordamida kuzatish mumkin (masalan, Chandra va XMM-Newton teleskoplari).

o **Radioto'lqinlar:** Event Horizon Telescope (EHT) Sagittarius A* va M87 qora tuynuklarining tasvirini olish uchun radioteleskoplardan foydalanadi.

3. **Gravitatsion to'lqinlar orqali kuzatish**

o Ikkita qora tuynukning qo'shilishi natijasida hosil bo'luvchi kuchli gravitatsion to'lqinlar LIGO va Virgo kabi detektorlar tomonidan qayd etiladi.

o Bu usul qora tuynuklarning to'g'ridan-to'g'ri mavjudligini isbotlovchi eng muhim dalillardan biridir.

4. **Relativistik jetlar va ularning ta'siri**

o Qora tuynuk atrofidan chiqayotgan jetlar kuchli radio va rentgen nurlanishi chiqaradi.

o Bunday hodisalarni kuzatish uchun Hubble Space Telescope va Chandra kabi teleskoplar qo'llaniladi.

Nazorat savollari:

1. Gravitatsion kollaps nima? U qanday jarayonlarni keltirib chiqaradi?
2. Qora tuynukning atrof-muhitga ta'sirini qanday tavsiflash mumkin?
3. Qora tuynukning akresiya diski qanday ishlaydi va u qanday nurlanish manbai bo'ladi?
4. Qora tuynuklar tomonidan chiqariladigan rentgen va gamma nurlari qanday kuzatiladi?
5. Relativistik jetlar va ularning qora tuynuklar bilan bog'liqligi qanday tushuniladi?
6. Qora tuynuklarning gravitatsion ta'sirini qanday aniqlash mumkin?
7. Gravitatsion to'lqinlar nima va ular qora tuynuklarni kuzatishda qanday yordam beradi?
8. Qora tuynuklarning modda yutish jarayoni galaktik muhitga qanday ta'sir qiladi?
9. Qora tuynuklar va ularning tasvirini olish uchun qaysi teleskoplar qo'llaniladi?
10. Qora tuynuklarning gravitatsion singulyarligi nima va bu nima uchun muhim?

4-MAVZU: Neytron yulduz va oq mittilar. Neytron yulduzlarning magnit maydoni. Akkretsion disk. Qora o'raning nurlanishi. Qora o'ra termodinamikasi. Qora o'ra tasviri.

REJA:

1. **Neytron yulduz va oq mittilar**
2. **Neytron yulduzlarning magnit maydoni.**

3. **Akkretsiya disk.**
4. **Qora o'raning nurlanishi.**
5. **Qora o'ra termodinamikasi.**
6. **Qora o'ra tasviri.**

Oq mittilar, neytron yulduzlar va qora tuynuklar. Ma'lumki, yulduz energiya zahirasi juda katta bo'lishiga qaramay bu energiya vaqt o'tishi bilan bosqichma-bosqich yaroqsizlashib boradi. Yulduzlar xuddi insonlarga o'hshab yashaydi, qariydi va o'ladi. Ularning yashash vaqti- paydo bo'lganidan to yadro yonilg'i resurslari yulduz bo'lib nur sohib turishiga yetarli bo'lmay qolishigacha bo'lgan vaqtdir. Bu vaqt har bir yulduzning massasiga bog'liqdir. Xususan, eng yaqin yulduz- bu 5 milliard yillardan beri yadro sintezi jarayoni xisobiga hozirda o'zining aktiv bosqichida bo'lgan Quyoshdir va uning yonilg'i zahirasi yana 5 milliard yilga yetadi¹⁵. Quyosh o'z yonilg'isini sarflab tugatayotgan bosqichda o'zining gravitatsiyasi hisobidan Yer sayyorasi o'lchamidan katta bo'lmagan o'lchamgacha siqiladi. Bunda u xosil bo'lgan elektron gaz bosimi bilan muvozanatlashgandan so'ng siqilishdan to'xtab oq mittiga aylanadi. Massasi Quyosh massasidan 3-5 marta katta bo'lgan Yulduzlar o'z umrini boshqacha- neytron yulduzlarga aylangan holda yakunlaydi, bunda gravitatsiya shunday kuchliki elektronlarni atom yadrosiga joylashtiradi. Endi ichki bosim kuchi elektron gaz bosimi emas balki neytronlar bosimi xisobiga gravitatsiya kuchlarini muvozanatlaydi va 10 km gacha siqilib boradi.

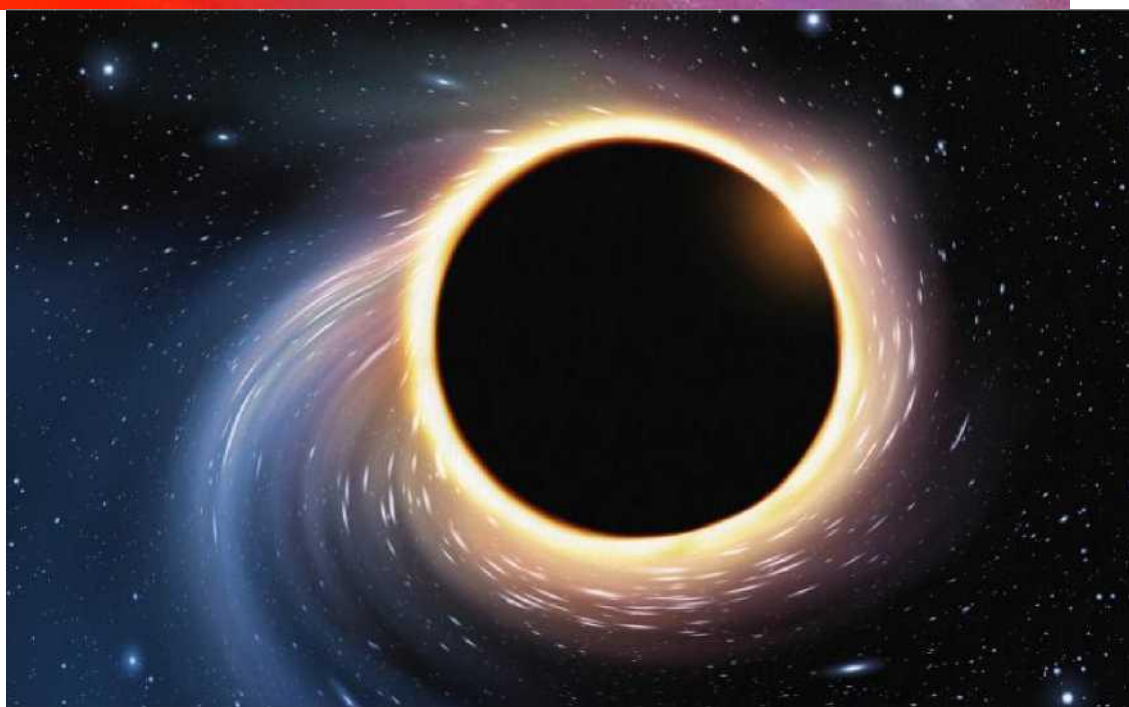
Yanada og'irroq va ko'proq vodorod yonilg'i zahirasi ega bo'lgan yulduzlar kuchli gravitatsiya kuchlari ta'siri ostida tez yonadi va yashash vaqti ham qisqa bo'ladi. Massasi jihatdan yirik bo'lgan yulduzlar tom ma'noda bir necha million yil davomida "yonib turadi", mayda yulduzlar esa yuzlab milliard yillar davomida "yashaydi". Shunday ekan, bu ma'noda bizning Quyosh "mustaxkam o'rta" likka kiradi.

Nazariy jihatdan yulduzlar dastlabki massalariga bog'liq holda uch hil ko'rinishda hayotini yakunlaydi: 1. Agar yulduz yadrosining dastlabki massasi Chandrasekar chegarasi deb ataladigan (tahminan) 1.4 Quyosh massasidan kichik bo'lsa qisqa vaqt qizil gigant holatidan keyin oq mittiga aylanadi. Oq mitti holida bir necha million yillar yashab sovuq qora mittiga, ya'ni haqiqiy kosmik o'lik jism- yulduzning murchasiga aylanadi. 2. Agar yulduzning dastlabki massasi Chandrasekar chegarasidan oshib Volkov chegarasi deb ataladigan tahminan 2-3 Quyosh massasidan katta bo'lsa, yadro yonilg'isining asosiy qismi kamayishidan keyin elektron gazning bosimi qarshilik qila olmagach gravitatsiya kuchlari ta'siri ostida tashqi qatlami yulduzning markaziga tushadi. Buning natijasida yulduz hajmi 100000 marta kamayadi, uning o'rtacha zichligi shuncha marta ortadi, radiusi esa atigi 10km atrofida bo'ladi. Deyarli shu bilan birgalikda yulduzning ustki qatlami portlash natijasida 10 000 km/s tartibidagi katta tezlik bilan har tomonga otilib ketadi. Bu hodisa markazida neytron yulduz hosil bo'lishi bilan yakunlanuvchi o'ta yangi yulduzning portlashidek kuzatiladi¹⁶. Bu Xitoy va Yapon tarixida aytib o'tilgan 1054

¹⁵ Arnab Rai Choudhuri, *Astrophysics for Physics*, Cambridge University Press, 2010, 471 p.

¹⁶ Max Camenzind, *Compact Objects in Astrophysics*, Springer, 2007, 682 p.

yilda xozirda markazida neytron yulduz joylashgan Kraborid tumanligi o'rnida yorqin yulduz kabi yarqirab, ikki hafta davomida hattoki kunduzlari ham ko'rinib turgan. 3. Kollapsga uchrayotgan yulduzning massasi kandaydir kritik qiymatdan katta bo'lsa (3 Quyosh massasidan) gravitatsiya shunchalik katta bo'ladiki buni hech narsa to'htata olmaydi. Gravitatsiya kuchlari yulduzni tashkil qiluvchi moddalarni shunday siqib boradiki bunda yulduz o'lchami eng kichik o'lchamgacha kichrayadi



1-rasm. Qora tuynuklarning rasmlari.

Bu uchala kompakt ob'ektlar oddiy yulduzlardan ikkita fundamental belgi bilan farqlanadi. Birinchidan, yadro yonilg'isini sarflab ular gravitasion kollapsga termodinamik bosim hisobidan qarshilik ko'rsatadi. Oq mittilar gravitasion kollapsga elektron gaz bosimi bilan qarshilik qiladi, neytron yulduzlar- neytronlar bosimi bilan.

Qora tuynuklar esa- o‘zining gravitatsiya kuchlariga qarshilik qila olmasdan yanoga bir nuqtagacha siqilib borgan. Uchala kompakt ob‘yektlar Koinotning yoshi tartibidagi davrda turg‘un ob‘yektlar hisoblanadi. Ularni yulduzlarning eng oxirgi bosqichidagi ob‘yekt deb hisoblash mumkin. Ikkinchi farqi – oddiy o‘zlarining massasi tartibidagi yulduzlarning o‘lchamlariga nisbatan ancha kichikligidir¹⁷.

Gersshprung-Rassel diagrammasi

Bu uchala yulduzlarning oxirgi bosqichidagi ob‘yektlardan eng birinchi bo‘lib oq mittilar astronomik kuzatishlar natijasida topilgan. Oq mitti tajribada astronomlar bunday yulduz qanday qilib nur sohib turishini tushinidan oldin topilgan. 1914 yili amerikalik astronom Adams osmonimizdagi eng yorqin yulduz bo‘lgan Siriusning yo‘ldoshi Sirius V ning spektrini analiz qilayotib yuqori haroratga - Sirius yulduzining haroratiga yaqin haroratga ega va massasi Quyosh massasi tartibida bo‘lsa ham radiusi Yer radiusidan kichik degan hulosaga keladi¹⁸.

Neytron yulduzlari tarixi esa aksincha, 1934 yil Baade va Svikki neytron yulduzlar –yuqori zichlikka, kichik radiusga va boshqa oddiy yulduzlarga nisbatan

kuchli gravitatsiyaga ega bo‘lgan yulduzlar g‘oyasini taklif qiladi. Neytron yulduzlar aslida astronomlar tomonidan kashf etilgunga qadar nazaraiyotchilar tomonidan bir asr oldin qalam uchida kashf qilingan. Ularning astronomik kuzatuvlarda topilishi bunchalik kechikishining sababi tez oradi to‘liq tushinarli bo‘ldi. Agar kosmik jismning radiusi 10km bo‘lsa hattoki ungacha masofa eng yaqin yulduzgacha (Quyoshdan tashqari) masofaga (10 yorug‘lik yili) teng bo‘lsa ham uni eng qudratli teleskop yordamida ham kuzatish mumkin emas. Va hattoki neytron yulduzgacha masofa mumkin qadar kichik bo‘lsa ham! Bundan kelib chiqadiki neytron yulduzlarni optik usullar bilan kuzatishlar muvofaqqiyatga uchraydi.

Va birdan kutilmagan narsa sodir bo‘ldi: neytron yulduzlari topildi. Ular tamoman qidirilmagan joydan, izlamagan odamlar tomonidan topildi. 1968 yil fevralida mashhur Nature ilmiy jurnali sahifalarida taniqli ingliz astronomi Xyush va uning hamkasblari tomonidan pulsardarning kashf etilishiga bag‘ishlangan maqola paydo bo‘ladi. Astronomiyaning XX asrdagi eng buyuk kashfiyoti 1967 yil Kembridje Universiteti Mallard radioastronomik observatoriyasida Djosefin Bell tomonidan ochilgan tez aylanuvchi neytron yulduzlar-pulsarlarning kashf etilishi bo‘lgan. Bu pulsarlar radio diapozonda urganilgan¹⁹. Ularning ochilishi sharafiga Bell, Entoni Xyushlarga 1974 yil Nobel mukofoti berildi. Hozirgacha 2000 ga yaqin pulsarlar ma’lum, keyinchalik pulsarlar rentgen diapozonida va keyinroq faqat shu diapozonda ko‘rinadigan gamma-pulsarlar ham aniqlandi.

Yulduzni shunday radiusgacha siqib boramizki, bunda undan fazoga yorug‘lik

17

L. Rezzolla, O. Zanotti, Relativistic Hydrodynamics, Oxford University Press, 2013, 752 p.

¹⁸T. Padmanabhan, Theoretical Astrophysics, Volume I-III, Cambridge University Press, 2010.

19

Бочкарев Н.Г.Б Магнитные поля в космосе, М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2011. – 216 с.

tarqilmaydi. Bu radius Shvarsschild radiusi deyiladi. Quyosh uchun bu 3 km atrofida. Agar Quyosh ham 3 km va undan kichik o'lchamgacha siqilsa yorug'lik nurlari Quyosh tashqarisiga chiqa olmaydi. Qora tuynukga aylangan osmon jismlari Koinotda yo'qolib ketmaydi. U o'zi haqida tashqi olamga o'zining gravitatsiyasi hisobidagina ma'lumot beraldi. Qora tuynuk yaqinidan o'tgan yorug'likni yutadi (u Shvarsschild radiusidan kichik masofalargacha yaqinlashsa) va yonidan o'tayotgan nurlarni sezilarli masofalargacha og'diradi.

O'ta og'ir yulduzlar oq mitti ham neytron yulduz ham bo'la olmaydi, chunki ularning ichki bosimlari gravitatsiyani kompensatsiya qilishga yetarli emas. Hattoki boshqacha ko'rinishdagi bosimlar kuchga kirgan taqdirda ham gravitasion kollaps baribir qaytmas bo'lib qolaveradi. Gravitatsiya hal qiluvchi kuch bo'ladi, natijada yulduzning yakuniy holati (hodisalar gorizonti bilan o'ralgan singulyar nuqta) faqtgina Eynshteynning gravitatsiya nazariyasi yordamida yoritiladi. Shunday qilib, qora tuynuklar Koinotdagi jumboqli xususiyatga ega bo'lgan sirli ob'yektlardan biri. Ma'lumki, qora tuynuk fazo-vaqt sohasi deyiladi, gravitatsiya maydoni shunchalik kuchliki, hattoki yorug'lik ham bu sohani tashlab chiqib keta olmaydi. Bu jism o'lchami uzining gravitasion o'lchamidan kichik bo'lganda sodir bo'ladi. Gravitasion radius Quyosh uchun 3 km, Yer uchun esa 9 mm otrofida. A. Eynshtenning umumiy nisbiylik nazariyasi qora tuynuklarning ajabtovur xususiyati-qora tuynuk uchun muhim bo'lgan xodisalar gorizonti mavjudligini ko'rsatadi. Qora tuynuk xodisalar gorizonti ichkarisi tashqi ko'zatuvchiga ko'rinmaydi, xamma jarayonlar xodisalar gorizonti tashqarisida sodir bo'ladi. Shu sababdan, xodisalar gorizontiga erkin tushayotgan fazogir extimol tamoman boshqa Koinotni va hattoki o'z kelajagini ham ko'rishi mumkin. Bu shuni bildiradiki, qora tuynuk ichkarisida fazo va vaqt koordinatalari o'z o'rnini almashtiradi va biz qora tuynuk ichida (xodisalar gorizonti ichkarisida) fazo bo'yicha emas balki vaqt bo'yicha sayohat qilamiz.

Qora tuynuklarning bunday g'ayri oddiy xususiyati ko'pchilikka shunchvki fantastika bo'lib tuyiladi va ularning mavjudligiga shubha paydo bo'ladi. Ammo shuni ta'kidlash joizki, eng yangi kuzatuv ma'lumotlariga ko'ra qora tuynuklar haqiqatan ham mavjud. Masalan, XXI asr bo'sag'asida bizning galaktikamiz markazida o'ta og'ir, massasi 4 million Quyosh massasiga teng bo'lgan qora tuynuk mavjudligi topildi. Bu- qora tuynuklar va ularning xususiyatlari izlanishidagi yangi bosqich keldi va yaqin kelajakda ushbu sohada ilmiy tadqiqotlar sezilarli darajada rivojlanishga erishishimizga olib kelishi kerak degani²⁰.

Shu o'rinda birinchi navbatda mashhur fizik, astrofizika va nazariy fizika sohasida ko'pgina yorqin ishlar muallifi, bir vaqtlar Isaak Nyuton va Pol Diraklar raxbarlik qilgan Kembridje Universiteti kafedrası a'zosi Stiven Xokingni ta'kidlab o'tish joiz. Uning izlanishlarining asosiy ob'yekti bu qora tuynuklar fizikasidir. Uning asarlari orasida "Vaqtning qisqacha tarixi" kitobi eng sodda tilda fizikaning qiyin va dolzarb muammolarini hammaga tushinarli qilib yozilgan. Bu Xoking haqida hammasi emas. U juda og'ir kasal bo'lib uning xozirda faqatgina ikkita o'ng

²⁰

James B. Hartle, Gravity: An Introduction to Einstein's General Relativity, Pearson Education Ltd., 2013, 554 p.

qo‘l barmoqlari harakati saqlab qolingan va oxirgi 30 yil davomida gapirishdan ham mahrum bo‘lgan. U atrofida gilari bilan nutq sinezatori va kompyuter yordamida gaplashadi. Shunga qaramasdan, u foal va dohiyona ilmiy izlanishlar olib bormoqda.

1974 yilda Stiven Xoking qora tuynuklar atrofida vakuumdan zarralarning paydo bo‘lishi ko‘rib chiqadi. Uning hisoblashlari shuni ta’kidlaydiki aylanuvchi qora tuynuklar nurlanadi va bu qora tuynuk aylanishini sekinlashtiradi. Bu nurlanish spektri issiqlik nurlanishiga mos kelishi aytib o‘tadi. Biroq natijalar yarim klassik usulda olingan, aslida gravitatsiya maydoni umumiy nisbiylik nazariyasi tenglamalari bilan, qora tuynuk yaqinidagi vakuum kvanlangan maydon nazariyasi bilan yoritilishi kerak²¹. Ko‘pchilik olimlar Xoking ikkita nazariyani birlashtirib xatoga yo‘l quydi deb xisoblashadi. Uning qora tuynuklar uchun oldin qabul qilingan barcha qonunlarni buzadi. Keyinroq esa Xoking haq bo‘lib chiqadi va uning natijalari egrilangan vaqt-fazodasigi kvanlangan maydonlarning qonunlari ko‘rinishida rasman qobul qilindi. Shu sababdan gravitasion, elektromagnit va boshqa turdagi nurlanishlarni kvanlangan maydonlar deb qaraladi. Boshqacha so‘z bilan aytganda to‘lqinlar qanchalik kvant mexanikasi tenglamalari bilan yoritilmasin, ular o‘zini bir vaqtning o‘zida ham to‘lqin ham zarradek tutadi.

Shuningdek, Xoking xisob kitoblari qora tuynuklarning nurlanishini ham ko‘rsatadi. Portlashdan xosil bo‘lgan yangi ob‘yekt juda kichik haroratga ega bo‘ladi ($3 \cdot 10^{-8}$ K dan kichik), Qora tuynukning siqilishi uchun esa 10^{67} yildan ko‘proq vaqt kerak bo‘ladi. Siqilish natijasida uning harorati oshib boradi, nurlanishlar ham kuchayadi va “bug‘lanishi” tezlashadi. Nihoyat massasi bir necha million tonnagacha kamayganida va uning hodisalar gorizonti radiusi atom yadrosi o‘lchamiga teng bo‘lib, u juda katta (yuzlab million K) haroratgacha qiziydi.

Shunday qilib, qora jismning nurlanishi uning ichki tuzilishi to‘g‘risida hech qanday axborot olib chiqmaydi, demak Xokingning kashfiyoti ham qora tuynukga tushib qolgan jism haqida biror narsa bilishimizga yordam bera olmaydi. Boshqa so‘z bilan aytganda, Xoking takidlayotgan qora tuynukning nurlanishi uning ichki tuzilishi to‘g‘risida bizga ma’lumot bermaydi. Bu Xoking tomonidan kiritilgan axborotni yo‘qolish paradoksi deyiladi. U shuni ta’kidlaydiki, bizning Koinotdan axborot yo‘qolar ekan boshqa joyda paydo bo‘ladi. Lekin, kvant nazariyasiga binoan qora jismga yutilgan axborot to‘la yo‘qoladi²².

Xulosa o‘rnida shuni takidlash joizki, qora tuynuklar – o‘zida ko‘plab sinoat yashirib kelayotgan Koinotning jumboqli ob‘yektlaridir. Ko‘pgina baxs va munozalarga sabab bo‘layotgan ko‘p sonli paradoks va muammolarga qaramasdan ishonch bilan aytish mumkinki, hozirda javobsiz qolayotgan savollar kelajakda o‘z javobini topadi.

Nazorat savollari:

1. Koinotda yulduzlarning paydo bo‘lishi va evolyusiyasi.
2. Qizil gigant.

²¹

T. Padmanabhan, *Theoretical Astrophysics, Volume I-III*, Cambridge University Press, 2010.

²²Max Camenzind, *Compact Objects in Astrophysics*, Springer, 2007, 682 p.

3. Yulduzlarning temperaturasi
4. Vin siljish qonuni
5. Yulduzlarning spektral klassifikatsiyasi
6. Gersshprut-Rassel diagrammasi.
7. Rang ko'rsatkichini o'lchash.
8. Spektral chiziqlar intensivligini o'lchash.
9. Yulduzlar spektri.
10. Yulduzlarning evolyusiyasi.

AMALIY MASHG'ULOT MATERIALLARI

1-AMALIY MASHG'ULOT. Gravitatsion to'liqlar. Ko'p kanalli astronomiya. O'ta massiv qora o'ralar (2 soat).

REJA:

1. Gravitatsion to'liqlar tushunchasi va uning tasnifi.
2. Ko'p kanalli astronomiya.
3. O'ta massiv qora o'ralar.
4. Qora tuynuklar va ularni kuzatish usullari.

1. Kompakt ob'ektlar tushunchasi va ularning tasnifi

Kompakt ob'ektlar – bu yulduzlarning evolyutsiyasi natijasida hosil bo'ladigan, o'ziga xos fizik xususiyatlarga ega bo'lgan, o'ta zich astronomik jismlardir. Ular gravitatsion kuch ta'sirida o'z hajmiga nisbatan juda katta massaga ega bo'lib, odatdagi yulduzlardan keskin farq qiladi.

Yulduzlarning hayot sikli davomida, ular termoyadro reaksiyalar orqali energiya ishlab chiqaradi. Biroq, yoqilg'isi tugagandan so'ng, ularning yadro bosimi tortish kuchiga qarshi tura olmaydi va kollaps holatiga o'tadi. Ushbu jarayon natijasida turli kompakt ob'ektlar hosil bo'ladi. Ular uchta asosiy toifaga bo'linadi:

1. Oq mittilar

- O'rtacha va past massali yulduzlarning evolyutsiyasi natijasida hosil bo'ladi. ○ Elektron degeneratsiyasi bosimi yulduzning to'liq siqilishiga to'sqinlik qiladi.
- Massasi **Chandrasekhar chegarasi** (taxminan 1,4 quyosh massasi) dan oshmaydi.
- Vaqt o'tishi bilan sovib, qora mittiga aylanadi.

2. Neytron yulduzlar va pulsarlar

- O'rta massali yulduzlarning yakuniy bosqichi natijasida hosil bo'ladi.
- Yulduz yadrosi gravitatsion kollapsga uchraydi va **neytron degeneratsiyasi** natijasida neytron yulduz hosil bo'ladi.
- Juda kuchli magnit maydonga ega bo'lib, ba'zilar **pulsar** sifatida kuzatiladi, ya'ni muntazam ravishda elektromagnit impul'slar chiqaradi.
- Ularning massasi **Tolman-Oppenheimer-Volkoff chegarasi** (taxminan 2,5 quyosh massasi) dan oshmaydi.

3. Qora tuynuklar

- Juda katta massali yulduzlarning yakuniy bosqichi natijasida hosil bo'ladi.

- Gravitatsion kollaps natijasida yulduzning barcha moddasi bitta nuqtaga jamlanib, **hoddalar gorizonti** hosil bo‘ladi.
- Shvartssild radiusi doirasida hech qanday yorug‘lik yoki moddalar qochib chiqolmaydi.
- **O‘ta massiv qora tuynuklar** galaktikalarning markazida joylashgan bo‘lishi mumkin.

Bu kompakt ob’ektlarning kuzatilishi astronomik texnologiyalar rivojlanishi bilan yanada aniqroq bo‘lib bormoqda. Ayniqsa, rentgen teleskoplar, gravitatsion to‘lqin

detektorlar va radio teleskoplar ushbu obyektlarni tadqiq qilishda muhim rol o‘ynaydi.

. Oq mittilar va ularning xususiyatlari

Oq mittilar – bu yulduz evolyutsiyasining oxirgi bosqichida hosil bo‘ladigan, o‘ta zich va nisbatan kichik astronomik jismlar bo‘lib, ular asosan o‘rtacha va past massali yulduzlarning (masalan, Quyoshning) yoqilg‘isi tugagach vujudga keladi. Oq mittilar o‘zining zichligi, kichik hajmi va yuqori harorati bilan ajralib turadi.

Hosil bo‘lish jarayoni

- O‘rtacha massali yulduzlar (taxminan 0,5–8 Quyosh massasi) hayotining oxirida **qizil gigant** bosqichidan o‘tadi.
- Ularning tashqi qatlamlari **planetar tumanlik** sifatida sochiladi, markaziy qismi esa siqilib, oq mittiga aylanadi.
- Ushbu jarayonda yulduz yadrosi elektron degeneratsiyasi bosimi tufayli to‘liq kollapsga uchramaydi.

Xususiyatlari

1. Juda yuqori zichlik

- Oq mittining massasi deyarli Quyoshga teng bo‘lsa ham, uning diametri atigi **10 000 km** atrofida bo‘ladi (Yer hajmiga yaqin).
- Bu shuni anglatadiki, uning zichligi o‘ta yuqori – **bir choy qoshiq moddasi millionlab tonna** bo‘lishi mumkin.

2. Chandrasekhar chegarasi

- Oq mittining maksimal massasi **1,4 Quyosh massasi** dan oshishi mumkin emas.
- Agar bu chegaradan oshsa, yulduz neytron yulduz yoki qora tuynukka aylanishi mumkin.

3. Elektron degeneratsiyasi bosimi

- Oq mittilar termoyadro sintezini davom ettirmaydi, lekin ularning materiyasi **elektron degeneratsiyasi** tufayli siqilishdan himoyalangan bo‘ladi.

4. Issiqlik nurlanishi va sovish jarayoni

- Yangi hosil bo‘lgan oq mittilar juda issiq bo‘lib, harorati **100 000 K** gacha yetishi mumkin.
- Ular o‘zidan yorug‘lik nurlantirishda davom etadi, ammo termoyadro reaksiyalari bo‘lmaganligi sababli asta-sekin soviydi.

- o Nihoyat, trillionlab yillar o'tgach, ular **qora mittiga** aylanadi.

5. Ikki yulduzli tizimlarda portlash ehtimoli

- o Agar oq mitti boshqa yulduz bilan **ikki yulduzli tizimda** bo'lsa, u o'z hamroh yulduzidan modda tortib olishi mumkin.
- o Oq mittiga modda yig'ilishi davom etsa va massasi **Chandrasekhar chegarasi** dan oshsa, u **Ia tipli supernova** sifatida portlashi mumkin.

6. Spektral xususiyatlari

- o Oq mittilar kuchli tortish kuchi tufayli ingichka atmosfera qatlamiga ega bo'ladi.
- o Ularning spektri asosan vodorod (DA tip) yoki geliy (DB tip) chiziqlarini o'z ichiga oladi.

Muhim ahamiyati

Oq mittilar koinot evolyutsiyasini tushunishda muhim rol o'ynaydi. Ayniqsa, **Ia tipli supernovalar** orqali olimlar olis galaktikalar orasidagi masofani aniqlashadi, bu esa **kengayib borayotgan koinot** nazariyasini tasdiqlashga yordam beradi.

Oq mittilar hali ham astronomlarning tadqiqot obyekti bo'lib, ular orqali yulduzlarning o'limi, degenerativ materiya xususiyatlari va koinotning uzoq kelajakdagi evolyutsiyasi haqida ko'plab ma'lumotlar olinmoqda.

Neytron yulduzlar va pulsarlar.

Neytron yulduzlar – bu juda yuqori zichlikka ega bo'lgan, o'ta zich astronomik jismlar bo'lib, ular og'ir massali yulduzlarning hayotining oxirida yuzaga keladi. Ushbu yulduzlar **katta massali yulduzlarning supernova portlashi natijasida** hosil bo'ladi. Portlash paytida yulduzning tashqi qatlamlari kosmosga sochilib, markaziy qismi siqilib, neytron yulduzga aylanadi.

Neytron yulduzlarning hosil bo'lish jarayoni

1. **Supernova portlashi** – katta massali (8-30 Quyosh massasi) yulduzlar termoyadro yoqilg'isini tugatgandan so'ng, yadrosi o'z-o'zidan kollapsga uchraydi va kuchli portlash yuz beradi.
2. **Gravitatsion kollaps** – yadro materiyasi shunday siqiladiki, protonlar va elektronlar neytronlarga birlashadi.
3. **Neytron degeneratsiyasi** – hosil bo'lgan neytronlar degeneratsiya bosimini hosil qilib, yulduzning to'liq qulashiga to'sqinlik qiladi.

Neytron yulduzlarning xususiyatlari

- **Juda yuqori zichlik** – bir choy qoshiq neytron yulduz moddasi milliardlab tonnaga teng bo'lishi mumkin.
- **Kichik hajm** – neytron yulduzining diametri odatda **10-20 km** atrofida bo'ladi.
- **Tez aylanish** – bu yulduzlar **sekundiga yuzlab aylanish** tezligiga ega bo'lishi mumkin.
- **Kuchli magnit maydon** – neytron yulduzlarning magnit maydoni Yerning magnit maydonidan **trillion barobar kuchli** bo'lishi mumkin.
- **Gravitatsiya ta'siri** – neytron yulduzning tortish kuchi juda katta bo'lib, uning sirtida **yorug'lik tezligi 30-40% gacha sekinlashadi**.

Pulsarlar

Pulsarlar – bu yuqori tezlikda aylanuvchi va kuchli magnit maydonga ega bo‘lgan neytron yulduzlar bo‘lib, ular muntazam **radio, rentgen yoki gamma nurlanish impulslarini** chiqaradi.

Pulsarlarning hosil bo‘lishi va ishlash mexanizmi

- **Tez aylanish** – supernova portlashi natijasida yulduzning burchak momenti saqlanib qoladi va bu neytron yulduzning juda tez aylanishiga sabab bo‘ladi.
- **Magnitosfera** – kuchli magnit maydon zaryadlangan zarralarni tezlashtiradi va nurlanish hosil qiladi.
- **Lighthouse effekti** – agar neytron yulduzning magnit o‘qi aylanish o‘qi bilan mos kelmasa, unda uning nurlanishi kuzatuvchilar uchun puls sifatida ko‘rinadi.

Pulsarlarning asosiy xususiyatlari

- **Muntazam pulsar** – radio va rentgen nurlari aniq davriylik bilan takrorlanadi.
- **Aylanish davri** – pulsarlar odatda **bir necha millisekunddan bir necha soniyagacha** bo‘lgan aylanish davriga ega.
- **Eng mashhur pulsar** – "Crab pulsar" (Qisqichbaqa tumanligida joylashgan)

Magnetarlar – maxsus neytron yulduzlari

Ba’zi neytron yulduzlar **o‘ta kuchli magnit maydon** bilan ajralib turadi. Ular **magnetarlar** deb ataladi va **gamma hamda rentgen portlashlari** bilan ajralib turadi.

Neytron yulduzlar va pulsarlarni kuzatish usullari

- **Radio teleskoplar** – pulsarlarning radio impulslarini aniqlash uchun ishlatiladi.
- **Rentgen va gamma teleskoplar** – magnetarlar va o‘ta energiyali neytron yulduzlarni kuzatishda ishlatiladi.
- **Gravitatsion to‘lqin detektorlari** – neytron yulduzlar birlashganida yuzaga keladigan gravitatsion to‘lqinlarni aniqlash uchun qo‘llaniladi.

Neytron yulduzlar va pulsarlarning ahamiyati

- Koinot evolyutsiyasini o‘rganish
- Ekstremal fizik sharoitlarni o‘rganish (noyob kvant effektlari, tortishish kuchi ta’siri)
- Kosmik navigatsiya va vaqt o‘lchash (pulsarlar tabiiy "soat" sifatida ishlatiladi)

Neytron yulduzlar va pulsarlar astronomiyada juda muhim o‘ringa ega bo‘lib, ular fizik qonunlarni sinash uchun tabiiy laboratoriyalar sifatida qaraladi.

Qora tuynuklar va ularni kuzatish usullari.

Qora tuynuk tushunchasi

Qora tuynuk – bu fazo-vaqtning shunday sohasi bo‘lib, uning tortish kuchi shu qadar katta bo‘ladiki, hattoki yorug‘lik ham undan chiqib keta olmaydi. Qora tuynuklar **gravitatsion kollaps** natijasida hosil bo‘lib, juda katta zichlikka ega bo‘lgan kompakt ob’ektlar hisoblanadi. Ularning mavjudligi umumiy nisbiylik nazariyasi (Einstein) tomonidan oldindan bashorat qilingan.

Qora tuynuklarning hosil bo‘lishi

Qora tuynuklar yulduzlarning evolyutsiyasi natijasida yoki boshqa jarayonlar

orqali hosil bo'lishi mumkin:

1. **Katta massali yulduzlarning supernova portlashi** – agar yulduzning massasi **Tolman-Oppenheimer-Volkoff chegarasi** (taxminan 3 Quyosh massasi) dan katta bo'lsa, uning yadrosi neytron yulduz sifatida barqaror qololmaydi va qora tuynukka aylanadi.

2. **Neytron yulduzlarning birlashishi** – ikkita neytron yulduz to'qnashib, natijada qora tuynuk hosil qilishi mumkin.

3. **Kosmik koinot torlari va kvant jarayonlari** – nazariy jihatdan, katta energiyali jarayonlar orqali ham qora tuynuklar hosil bo'lishi mumkin.

Qora tuynuklarning asosiy xususiyatlari

- **Hodisalar gorizonti** – qora tuynukning chegarasi bo'lib, undan hech narsa chiqib keta olmaydi.

- **Shvartsschild radiusi** – qora tuynukning minimal radiusi bo'lib, u yulduz massasi bilan bog'liq.

- **Singulyarlik** – qora tuynuk markazida barcha materiya **cheksiz zichlikka** ega bo'lgan nuqtada joylashgan.

- **Gravitatsion vaqt kengayishi** – qora tuynuk yaqinida vaqt tashqaridan kuzatuvchilar uchun sekinroq o'tadi.

- **Gravitatsion linzalash** – qora tuynuk atrofidagi yorug'lik egilib, uning orqasidagi jismlar g'ayrioddiy shakllarda ko'rinadi.

Qora tuynuklarning turlari

1. **Yulduz massali qora tuynuklar** – taxminan 3-100 Quyosh massasi atrofida bo'lib, katta yulduzlar qulaganda hosil bo'ladi.

2. **O'ta massiv qora tuynuklar** – million yoki milliard Quyosh massasiga ega bo'lib, galaktikalar markazida joylashgan.

3. **O'rta massali qora tuynuklar** – o'rta massali (100-10 000 Quyosh massasi) qora tuynuklar nazariy jihatdan mavjud bo'lishi mumkin, ammo ular hali to'liq tasdiqlanmagan.

4. **Mikro qora tuynuklar** – nazariy jihatdan kichik qora tuynuklar kvant effektlari orqali hosil bo'lishi mumkin.

Qora tuynuklarni kuzatish usullari

Qora tuynuklarning o'zi yorug'lik chiqarmaydi, shuning uchun ularni bevosita ko'rish imkonsiz. Lekin ularni turli usullar bilan kuzatish mumkin:

1. Akretsiya diski va rentgen nurlanishi orqali

- Qora tuynukka yaqinlashgan modda juda issiqlashib, **rentgen nurlar** chiqaradi.

- Masalan, **Cygnus X-1** qora tuynugi ushbu usul orqali aniqlandi.

2. Gravitatsion linzalash

- Agar qora tuynuk orqasida joylashgan yorug' ob'ekt bo'lsa, uning yorug'ligi qora tuynuk tomonidan **egilib**, g'ayrioddiy tasvir hosil qiladi.

- Bu usul yordamida qora tuynuklar bilvosita aniqlanadi.

3. Gravitatsion to'lqinlar orqali

- **LIGO va Virgo detektorlari** ikkita qora tuynukning birlashishi natijasida yuzaga keladigan **gravitatsion to'lqinlarni** aniqlaydi.

- 2015-yilda **birinchi marta** qora tuynuklarning birlashishi kuzatilgan.
- 4. Yulduzlarning orbital harakati orqali**
 - Agar yulduz qora tuynuk atrofida harakatlanayotgan bo'lsa, uning g'ayrioddiy orbital xatti-harakatlari qora tuynukning mavjudligiga ishora qiladi.
 - **Sagittarius A*** galaktikamiz markazidagi qora tuynuk shu usul bilan aniqlandi.
- 5. Bevosita tasvir olish (Event Horizon Telescope)**
 - 2019-yilda **Event Horizon Telescope** yordamida **M87** galaktikasining markazidagi o'ta massiv qora tuynukning tasviri olingan.

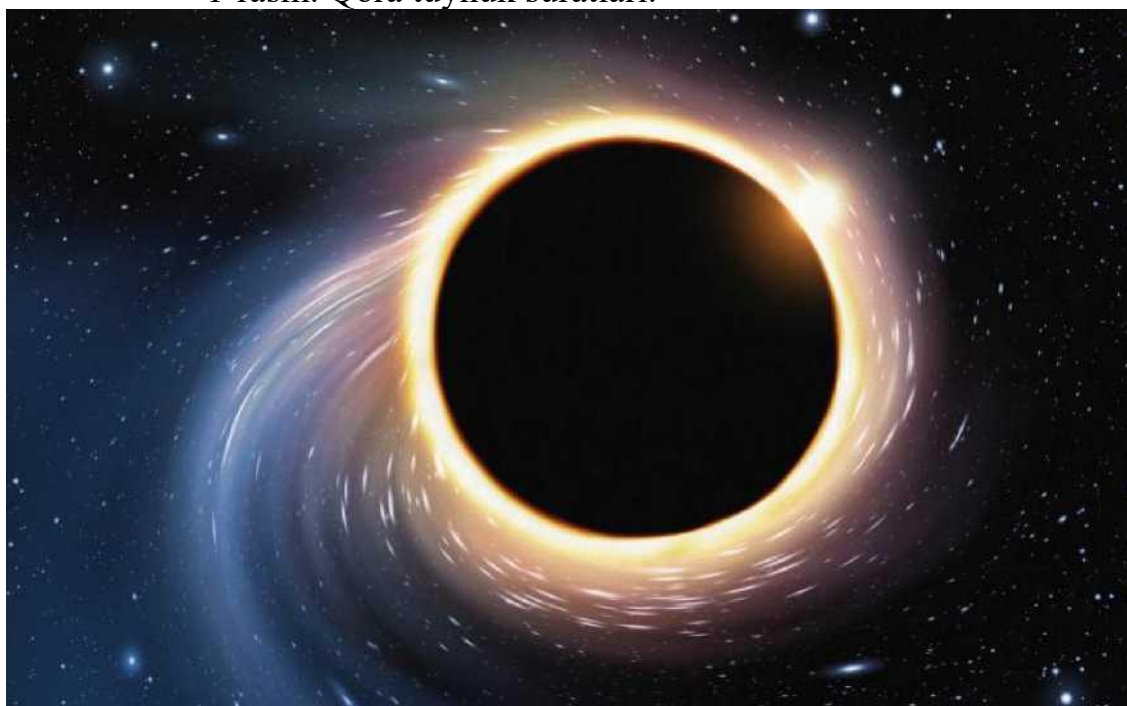
Qora tuynuklarning ahamiyati

- Umumiy nisbiylik nazariyasini tekshirish
- Koinotning o'ta kuchli gravitatsiya sharoitlarini o'rganish
- Galaktikalarning shakllanishi va evolyutsiyasini tushunish
- Kvant tortishish nazariyalarini sinash

Qora tuynuklar eng sirli va g'ayrioddiy astronomik obyektlardan biri bo'lib, ularni tadqiq qilish orqali fizika va kosmologiya bo'yicha fundamental qonunlar aniqlanmoqda.



1-rasm. Qora tuynuk suratlari.



2-rasm. Qora tuynuk suratlari.

Nazorat savollari:

1. Kompakt ob'ektlar qanday astronomik jismlar hisoblanadi?
2. Kompakt ob'ektlarning asosiy turlari qaysilar?
3. Yulduz evolyutsiyasi natijasida kompakt ob'ektlar qanday hosil bo'ladi?
4. Chandrasekhar chegarasi nima va uning ahamiyati qanday?
5. Tolman-Oppenheimer-Volkoff chegarasi qanday kompakt ob'ektlar bilan bog'liq?
6. Oq mittilar qanday yulduzlarning evolyutsiyasi natijasida hosil bo'ladi?
7. Oq mittilar qanday fizik xususiyatlarga ega?
8. Oq mittining massasi qanday maksimal qiymatdan oshib keta olmaydi va nima uchun?
9. Oq mittilar qanday usullar bilan kuzatiladi?
10. Ikki yulduzli tizimlardagi oq mittilar qanday portlashga olib kelishi mumkin?
11. Neytron yulduz qanday jarayon natijasida hosil bo'ladi?
12. Pulsarlar nima va ular qanday nurlanish hosil qiladi?
13. Neytron yulduzlar nega juda yuqori zichlikka ega?
14. Magnetarlar oddiy neytron yulduzlardan qanday farq qiladi?
15. Qora tuynuklarning mavjudligi qanday eksperimental va nazariy dalillar orqali isbotlangan?

2. – AMALIY MASHG'ULOT: James Webb va Hubble kosmik teleskoplarning zamonaviy kuzatuvlari va kashfiyotlari.

REJA:

1. Chandrasekhar chegarasi
2. Oq mittilar va neytron yulduzlar
3. Gravitatsion kollaps
4. Yulduzlarning Gravitatsion Kollapsi
5. James Webb Teleskopi
6. Hubble kosmik teleskoplarning

Neytron yulduzlar va oq mittilar ikkalasi ham **kompakt yulduz qoldiqlari** bo'lib, ular katta massali yulduzlarning evolyutsiyasi natijasida hosil bo'ladi. Ushbu jismlar bir-biriga o'xshash bo'lsa ham, ularning fizik xususiyatlari va hosil bo'lish mexanizmlari ancha farq qiladi. Quyida ularning asosiy farqlari va o'xshashliklari ko'rib chiqiladi.

1. Oq mittilar Hosil bo'lishi:

- O'rtacha va kichik massali yulduzlar (Quyosh massasi **8MO** dan kichik) hayotining oxirida **qizil gigant** bosqichidan o'tadi.
- Termoyadro reaksiyalari tugaganda, tashqi qatlamlari kosmosga sochilib,

markaziy qismi siqilib **oq mittiga** aylanadi.

- Ushbu yulduzlar **Chandrasekhar chegarasi** (1.4Mo) dan oshmaydi.

Xususiyatlari:

- **Hajmi:** Yerga yaqin (diametri taxminan **10 000 km**).
- **Zichligi:** Juda yuqori, lekin neytron yulduzlardan kamroq (bir choy qoshiq moddasi **bir necha tonna**).
- **Elektron degeneratsiyasi bosimi** yulduzni gravitatsion siqilishdan himoya qiladi.
- **Sovish jarayoni** – vaqt o'tishi bilan asta-sekin **qora mittiga** aylanadi.
- Ikki yulduzli tizimda bo'lsa, **Ia tipli supernova** portlashi mumkin.

2. Neytron yulduzlar

Hosil bo'lishi:

- **Katta massali yulduzlar (8-30MO)** supernova portlashi natijasida neytron yulduzga aylanadi.
- Portlash vaqtida yulduz yadrosi siqilib, proton va elektronlar neytronlarga aylanishi natijasida **neytron degeneratsiyasi** yuzaga keladi.

Xususiyatlari:

- **Hajmi:** Juda kichik, atigi **10-20 km** diametrda.
- **Zichligi:** Nihoyatda katta – bir choy qoshiq moddasi **taxminan 1 milliard tonna**.
- **Neytron degeneratsiyasi bosimi** yulduzni gravitatsion kollapsdan saqlaydi.
- **Tez aylanish** – sekundiga yuzlab marta aylanib, **pulsar** bo'lishi mumkin.
- **Magnit maydoni** – o'ta kuchli, ba'zida **magnetar** hosil qiladi.
- Ikki neytron yulduz to'qnashganda **gravitatsion to'lqinlar** hosil qiladi.

3. Oq mittilar va neytron yulduzlar taqqoslanishi

- **Oq mittilar** – kichik massali yulduzlarning sovib qolgan yadrolari bo'lib, **elektron degeneratsiyasi bosimi** tufayli barqaror qoladi.
- **Neytron yulduzlar** esa **kuchli gravitatsion kollaps** natijasida hosil bo'lib, **neytron degeneratsiyasi** tufayli barqaror bo'ladi.
- Neytron yulduzlar juda zich va kuchli magnit maydonlarga ega bo'lib, **pulsarlar va magnetarlar** hosil qilishi mumkin.
- Oq mittilar neytron yulduzlarga nisbatan **katta hajmli, ammo kam zichlikka ega** va vaqt o'tishi bilan butunlay sovib boradi.
- **Oq mittilar Ia tipli supernovaga sabab bo'lishi mumkin, neytron yulduzlar esa gravitatsion to'lqinlar manbai bo'lishi mumkin.**

Bu ikki kompakt ob'ekt **yulduz evolyutsiyasining turli bosqichlarida hosil bo'lib**, koinotdagi eng muhim jismlardan biri hisoblanadi.

Astrofizika nuqtai-nazaridan gravitatsion kollapsning turlarini farqlash.

Gravitatsion Kollaps Tushunchasi **Gravitatsion kollaps** – yulduz yoki boshqa osmon jismlarining o'z gravitatsion tortish kuchi ta'sirida siqilishi natijasida sodir bo'ladigan jarayon. Bu hodisa yulduz evolyutsiyasining oxirgi bosqichi bo'lib, uning massasi va boshlang'ich sharoitlariga qarab turli natijalarga olib keladi. Gravitatsion

kollaps natijasida **oq mittilar, neytron yulduzlar yoki qora tuynuklar** hosil bo'lishi mumkin.

Gravitatsion Kollaps Turlari

1. Yulduzlarning Gravitatsion Kollapsi

Bu turdagi kollaps katta massali yulduzlarning termoyadro yoqilg'isi tugagandan so'ng sodir bo'ladi. Yulduz yadrosidagi bosim gravitatsion kuchga qarshi tura olmaydi va kollaps yuzaga keladi. Bu jarayon quyidagi turlarga bo'linadi:

1. Oq mitti hosil qiluvchi kollaps

- O'rtacha va past massali yulduzlar (**0,5-8MO**) termoyadro yoqilg'isini tugatganda, ularning tashqi qatlamlari planetar tumanlik sifatida sochiladi.

- Yadrosi **elektron degeneratsiyasi bosimi** tufayli gravitatsiyaga qarshilik ko'rsatib, **oq mitti** hosil qiladi.

- **Chandrasekhar chegarasi** (1,4MO) dan oshgan oq mitti supernova portlashiga olib kelishi mumkin.

2. Neytron yulduz hosil qiluvchi kollaps

- Katta massali yulduzlar (**8-30MO**) supernova portlashi natijasida yadrosini yo'qotadi, ammo yadroning massasi **Tolman-Oppenheimer-Volkoff chegarasi** (taxminan 2,5-3MO) ichida qoladi.

- Yadroning siqilishi natijasida **neytron degeneratsiyasi** yuzaga keladi va **neytron yulduz** hosil bo'ladi.

- Agar neytron yulduz juda tez aylanayotgan bo'lsa, u **pulsar** yoki **magnetar** sifatida kuzatilishi mumkin.

3. Qora tuynuk hosil qiluvchi kollaps

- Agar yulduz yadrosining massasi **Tolman-Oppenheimer-Volkoff chegarasidan** katta bo'lsa, **neytron degeneratsiyasi bosimi** yetarli bo'lmaydi.

- Natijada gravitatsion siqilish cheksiz davom etib, **qora tuynuk** hosil bo'ladi.

- Uning atrofida **hodisalar gorizonti** paydo bo'lib, yorug'lik ham undan qochib chiqolmaydi.

2. Galaktikalar va Kosmik Tuzilmalar Gravitatsion Kollapsi

Yulduzlardan tashqari, **katta massali gaz va chang bulutlari ham gravitatsion kollapsga uchrashi mumkin**. Bular koinot miqyosida turli tuzilmalarning shakllanishiga olib keladi:

1. Galaktikalar hosil qiluvchi kollaps

- **Katta Portlashdan keyin** dastlabki gaz va chang bulutlari gravitatsiya ta'sirida siqilib, **galaktikalar** va **yulduzlar** shakllangan.

- Bu jarayon hozir ham davom etmoqda, masalan, **Somon Yo'li** va **Andromeda** galaktikasi yaqin kelajakda o'zaro tortishib, birlashishi mumkin.

2. Yulduzlararo bulutlarning kollapsi

- Katta gaz va chang bulutlari **gravitatsion beqarorlik** natijasida siqilib, **yangi yulduzlar** hosil qiladi.

- Masalan, **Orion tumanligi** bu jarayonning yaqqol namunasi.

3. Qora tuynuklar va o'ta massiv obyektlarning kollapsi

- Galaktikalar markazida **o'ta massiv qora tuynuklar** (10^6 - $10^9 M_{\odot}$) hosil bo'ladi.

- Ushbu qora tuynuklar yulduzlar va gazlarni o'ziga tortib, **akretsiya disklari** hosil qiladi va rentgen nurlanish chiqaradi.

3. Kosmik Miqyosdagi Gravitatsion Kollaps

Koinotning kelajagi ham gravitatsion kollaps bilan bog'liq bo'lishi mumkin. Unga bir nechta nazariy yondashuvlar mavjud:

1. Issiq O'lim (Heat Death)

- Koinot kengayishda davom etadi, lekin vaqt o'tishi bilan barcha energiya va issiqlik tarqalib, hech qanday yulduz yoki struktura qolmaydi.

2. Katta Kollaps (Big Crunch)

- Agar **koinotning zichligi** yetarli darajada katta bo'lsa, uning kengayishi to'xtab, **gravitatsion siqilish** boshlanadi va koinot o'z-o'zidan tortilib, **singulyarlikka** qulab tushadi.

3. Katta Sakrash (Big Bounce)

- Katta Kollaps sodir bo'lgach, koinot yangi **Katta Portlash** orqali yana kengayishi mumkin.

Amaliy Mashg'ulot: Gravitatsion Kollapsni O'rganish

Dars davomida quyidagi amaliy mashg'ulotlarni bajarish mumkin:

1. Kosmik Tasvirlarni Tahlil Qilish

- **James Webb Teleskopi** orqali olingan **yulduz hosil bo'lishi va kollaps jarayonlari** tasvirlarini tahlil qilish.

- **Oq mitti, neytron yulduz va qora tuynuk tasvirlarini** taqqoslash.

2. Nazariyalarni Solishtirish

- **Katta Portlash va Katta Kollaps nazariyalarini** grafik diagramma orqali solishtirish.

- **Nisbiylik nazariyasi va Kvant Gravitatsiyasi yondashuvlarini muhokama qilish.**

3. Gravitatsion Kollaps Modellari

- **Simulyatsiyalar orqali** turli yulduz massalari uchun kollaps jarayonlarini modellashtirish.

- **LIGO va Virgo gravitatsion to'lqin ma'lumotlarini** tahlil qilish.

Muhokama va Yakuniy Bahslar

Muhokama savollari:

1. Nima uchun yulduzlarning gravitatsion kollapsi turli obyektlarni hosil qiladi?

2. Neytron yulduz va qora tuynuk o'rtasidagi chegarani aniqlovchi omillar nima?

3. **Katta Kollaps nazariyasi amaliy dalillar bilan tasdiqlanganmi?**

4. **O'ta massiv qora tuynuklar galaktikalarning shakllanishida qanday rol o'ynaydi?**

Tavsiyalar:

- **NASA va ESA onlayn ma'lumotlaridan** foydalanish.

- **Gravitatsion to'lqinlar va qora tuynuklar haqidagi ilmiy maqolalarni**

o'qish.

• **Koinot simulyatsiyalarini kuzatish uchun dasturiy ta'minotlardan foydalanish.**

Nazorat savollari:

1. Nima uchun yulduzlarning gravitatsion kollapsi turli obyektlarni hosil qiladi?
2. Neytron yulduz va qora tuynuk o'rtasidagi chegarani aniqlovchi omillar nima?
3. Katta Kollaps nazariyasi amaliy dalillar bilan tasdiqlanganmi?
4. O'ta massiv qora tuynuklar galaktikalarning shakllanishida qanday rol o'ynaydi?

3. – AMALIY MASHG'ULOT: Ekzoplanetalar va zamonaviy kuzatuvlar. Galaktikalar va ularning turlari.

REJA:

- 1. Planetar tumanliklar.**
- 2. Globulalar.**
- 3. Kosmogoniya va kosmologiya asoslari**

Fizik o'zgaruvchan yulduzlarning yuqorida bayon etilgan turlaridan tashqari yana kechki spektral sinflarga tegishli juda ko'p o'zgaruvchan gigant yulduzlar mavjud. Bu yulduzlar ravshanligining o'zgarishi qat'iy davriylikka ega bo'lmasada, ularning ravshanlik o'zgarishida ma'lum tartibni sezish mumkin. Bunday o'zgaruvchan yulduzlar qisman tartibli o'zgaruvchan yulduzlar deyiladi. Ularning davriyligi juda yaqqol ko'rinmasada, bu yulduzlardan deyarli har birining biror o'rtacha davri bo'ladi.

O'z ravshanligini hech qanday davriyliksiz o'zgartadigan yulduzlar tartibsiz o'zgaruvchan yulduzlar yoki eruptiv yulduzlar deyiladi. Tartibsiz o'zgaruvchan yulduzlarga, masalan, Aravakashning RW yulduzi tipidagi o'zgaruvchan yulduzlar kiradi. Ularning spektral sinflari ancha keng chegarada (O dan M gacha) joylashgan; odatda, ularning spektrlarida vodorod va boshqa elementlarning nurlanish chiziqlari yorug' ko'rinadi. Bunday o'zgaruvchan yulduzlar uchun ravshanlikning ba'zan tez o'zgarishi va bu o'zgarishning vaqti-vaqti bilan deyarli davriy holatga o'tib turishi xarakterlidir. Aravakashning RW si tipidagi o'zgaruvchan yulduzlardan ko'pchiligi karlik yulduzlardir. Odatda ular fazoda chang va gaz tumanliklari bilan bog'langan gruppalar shaklida uchraydi. Spektral sinfi G bo'lgan bu tipdagi o'zgaruvchanlarni ko'pincha Savrning T si tipidagi o'zgaruvchanlar ham deyiladi; shu munosabat bilan Aravakashning RW si tipidagi o'zgaruvchan yulduzlar gruppasi T assotsiatsiyalari degan nom olgan.

Ahyon-ahyonda osmonda charaqlab nur sochuvchi yulduzlar ko'rinadi; ular ba'zan juda ravshan bo'ladi. Bunday yulduz hamma vaqt to'satdan paydo bo'lib, 12 kunda ravshanligi maksimumga etadi va so'ngra ravshanligi oldin tez, so'ngra sekin-sekin xiralasha boshlaydi. Bunday yulduzlar yangi yulduzlar deb yuritiladi. XX asrda bizning Galaktikamizda quyidagi yulduz turkumlarida: 1901 yili Persey, 1918 yili Burgut, 1925 yili Rassom va 1934 yili Gerkules yangi yulduzlar kuzatilgan.

Hozirgi kunda bu yulduzlarning haqiqatan yangi emasligini isbotlangan. Eski fotosuratlarda yangi yulduzni deyarli har doim juda xira yulduz ko'rinishida topish mumkin. Yangi yulduz hodisasi yulduzning ravshanligi bir necha kun, hatto bir necha soatlar ichida to'satdan bir necha ming marta ortib ketishidan iborat. Hozirgacha ravshanlikning ortishini biron marta ham eng boshidan boshlab kuzatishga muvaffaq bo'lingan emas. Chunki yangi yulduz odatda ravshanligi maksimumga etib, xiralasha boshlagandagina ko'rinadi. Ravshanlikning xiralashishi uning ortishiga qaraganda juda sekin, birmuncha tartibsiz charaqlashlar bilan o'tadi, lekin yulduz bir necha yillardan keyin o'zining dastlabki ravshanligiga qaytadi. Masalan, Burgutning 1918 yildagi «Yangi» yulduzi o'nlab yillar davomida 11^m

kattalikka ega bo'lib, 1918 yili 5 va 8 iyun o'rtasida u $+11^m$ dan -1^m gacha

ravshanlashgan, ya'ni 60 000 marta yorug'lashib ketgan. Keyin ravshanlik tez xiralasha boshlagan: yulduz 1 iyulda 4^m ga, noyabrda 6^m ga etgan; 1923 yilga kelib u o'zining boshlang'ich ravshanligi 11^m ga qaytgan va hozirgi vaqtda ham taxminan shunday ko'rinishda.

Yangi yulduzlarni o'rganish, ularning maksimumdagi absolyut kattaligi 7^m ga etishini (ya'ni yangi yulduzlar maksimumda Quyoshdan 60-100 ming marta yorug' bo'lishini) ko'rsatadi. Yangi yulduzlar ravshanligi o'zgarishining amplitudasi (minimumdan-maksimumgacha) o'rta hisobda 11^m ga teng. Bu - yangi yulduz charaqlaganda o'z ravshanligini 20-30 ming marta oshirishini ko'rsatadi.

Yangi yulduzlarning spektrlari juda murakkab va o'zgaruvchidir. Boshlang'ich bosqichda ba'zi elementlar, asosan vodorod chiziqlari spektrning binafsha tomoniga ancha siljigan bo'ladi. Bu esa massalarning yulduzdan kuzatuvchi tomon nihoyatda katta 1000 km/sek dan 2000 km/sek gacha tezlik bilan harakatlanayotganidan dalolat beradi. Haqiqatan, yulduzdan gaz massalari har tomonga tarqaladi. Shunday qilib, yulduzning atrofida radiusi sekundiga 1000-2000 km ga ortib boradigan gaz qobiq yoki tumanlik hosil bo'ladi. Yulduzning ravshanligi xiralasha borgan sari uning spektri, o'zining yorug' chiziqlari bilan xarakterlanadigan gaz tumanliklar spektriga juda o'xshab ketadi. Bir necha yildan so'ng tumanlik chiziqlari xiralashadi va Volf-Raye tipidagi yulduz spektri paydo bo'ladi.

Yangi yulduz atrofida tumanlikning paydo bo'lishini ba'zan bevosita kuhatish mumkin. Masalan, Burgut turkumidagi 1918 yilgi yangi yulduzi charaqlagandan bir necha oy o'tgach uning atrofida diametri 1" ga yaqin bo'lgan dumaloq tuman qobiq paydo bo'lgan. Fotosuratlarda qobiq 1930 yilgacha ko'ringan; u asta-sekin xiralashib, uning radiusi yiliga taxminan 1" ga ortib borgan. Bu qobiq asosan, yangi yulduzning 1918 yilgi charaqlashi vaqtida 1700 km/sek ga yaqin tezlikda (spektral ma'lumotlarga asosan) otilib chiqqan va taxminan shu tezlik bilan harakatini davom ettirgan vodorod massalaridan tashkil topgan.

Yangi yulduzlarning charaqlashi yulduzning to'satdan bir necha ming marta kengayib ketishining oqibatidir. Yangi yulduz diametri maksimumda Mars orbitasi diametridan ham ortib ketadi. Yulduzning nur sochayotgan sirti o'n ming martalab ortadi va bu yulduz ravshanligining to'satdan ortishiga sabab bo'ladi. Yulduzning kengayish protsessi juda tez (bir necha kun ichida) o'tadi. Kengayib borayotgan gaz qobiq maksimumga etganda yulduzdan ajraladi va undan sekundiga qariyb bir necha yuzlab kilometr tezlikda uzoqlasha boshlaydi. Qobiq tarqalgan sari yulduzning ko'rinma ravshanligi xiralashadi va u asta-sekin avvalgi ravshanligiga qaytadi. Chiqarib tashlangan qobiqning massasi Quyosh massasining taxminan 1/10000 qismiga teng. Yangi yulduzlarning o'z massalari hozircha ma'lum bo'lmasa-da, ular Quyosh massasidan ko'p farq qilmaydi deyish mumkin. Yangi yulduzlarning charaqlash vaqtida keskin kattalashish sababi hozircha aniq emas. Lekin nazariy hisoblashlarga muvofiq, yangi yulduz charaqlashi yulduzning sirt qatlamlaridagi portlashlar natijasida sodir bo'ladi: bunga sabab atom reaksiyalaridir deyish mumkin. Bunday charaqlash faqat ma'lum tipdagi yulduzlardagina yuz beradi. Yulduzlarning ko'pchiligi, jumladan, Quyosh ham, yangilar kabi charaqlay oladigan yulduzlar qatoriga kirmaydi.

Ba'zi "charaqlaydigan" yulduzlarning maksimumdagi absolyut ravshanligi -

11^m-18^m ga etadi, ya'ni tarqatayotgan energiyasi miqdoriga ko'ra ular Quyoshga o'xshash yulduzlardan milliardtasining energiyasiga tenglashadi. Bunday yulduzlar "o'ta yangi yulduzlar" deyiladi.

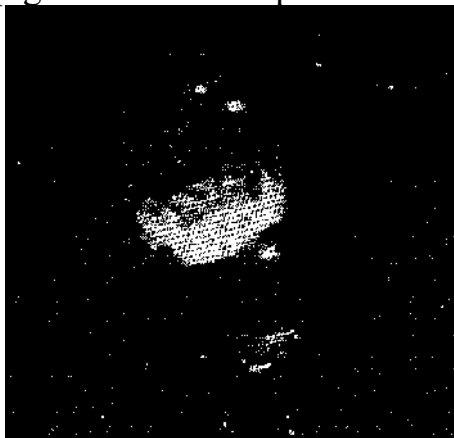
O'ta yangi yulduzlar charaqlagan joyda katta tumanliklar paydo bo'ladi va bu tumanliklar radionurlanishning kuchli manbalariga aylanadi. Masalan, 1054 yili Savr yulduz turkumidagi o'ta yangi yulduzning charaqlagan joyida, o'zining tashqi shakliga ko'ra qisqichbaqasimon deb atalgan tumanlik paydo bo'lgan (6-rasm). Xitoy solnomalarida yozilishiga qaraganda bu yulduz ravshanligi maksimumda Veneradan ham ortib ketgan, hatto u kunduzi ham ko'rinib turgan. Bizning yulduz sistemamiz - Galaktikada bu yulduzdan boshqa o'ta yangi yulduzlar 369, 1572 va 1604 yillarda charaqlagan.

Ravshanligining charaqlashi vaqti-vaqti bilan takrorlanib turadigan va charaqlashi yangi yulduz charaqlashiga o'xshab ketadigan o'zgaruvchan yulduzlar ham ma'lum. Bunday yulduzlar yangisimon degan nom olgan. Ular «haqiqiy» yangilardan ravshanlik o'zgarishi amplitudasining kichikligi (bir necha yulduz kattaligi) bilan farqlanadi.

Planetar tumanliklar

Uncha katta bo'lmagan teleskoplar yordamida qaraganda xira tuman dog'larga o'xshab ko'rinadigan osmon jismlari tumanliklar nomini olgan. Tumanliklarni keyinchalik katta teleskoplar yordamida fotografiyani tatbiq etib tekshirishlar, bu ob'ektlar uchun berilgan umumiy nom juda ham to'g'ri emasligini ko'rsatdi; chunki ularning tabiati nihoyatda turlicha: «tumanliklar»ning ba'zilari yulduz to'dalaridan yoki hatto butun yulduz sistemalari - galaktikalardan, ba'zilari esa gaz va changdan tashkil topgan bulutlar ekanligi ma'lum bo'ldi. Gaz-chang tumanliklar Somon Yo'li sistemasiga kiradi, shuning uchun ham ular galaktik tumanliklar degan nom olgan. Kattaligi, shakli va fizik xususiyatiga qarab tumanliklarni bir necha gruppaga: diffuz (oq va qora), planetar va globul (sharsimon) tumanliklarga ajratiladi.

Diffuz tumanliklar odatda aniq bir shaklga ega bo'lmaydi, ko'pincha ularning chegaralari ham keskin ko'rinmaydi. Ularning o'lchamlari juda katta va o'nlab yorug'lik yiliga etadi. Diffuz tumanliklar ham Galaktika ichida yulduzlar o'zaro qanday masofalarda joylashgan bo'lsa, ular ham shunday masofalarda joylashgan. Ulardan eng mashhuri - Orion tumanligidir (7-rasm). Uni durbin bilan ham ko'rsa bo'ladi; uning bizdan uzoqligi taxminan 400 ps.



7-rasm. Orion yulduz turkumidagi katta tumanlik.

Diffuz tumanliklar o'zlarining nur sochish qobiliyatlariga qarab oq va qora, o'zlarining tarkibiga qarab gaz va chang tumanliklarga bo'linadi.

Oq gaz tumanliklar o'zlarining spektrida vodorod, geliy, azot va boshqa elementlarning nurlanish chiziqlari bo'lishi bilan xarakterlidir. Gaz tumanliklarga yaqin joylashgan O va V sinflaridagi yulduzlarning ultrabinafsha nurlar tarqatishi ularning nur sochishiga sabab bo'ladi.

Odatda V sinfidagi yulduzlar bilan tumanliklarning birgalikda (masalan, Orionda va Hulkarda) kuzatilishi ham ana shu fakt bilan tushuntiriladi.

Shuningdek, oq chang tumanliklarning nur sochishi ham ularga yaqin joylashgan yulduzlarga bog'liq; ammo bularning nur sochishining sababi gaz tumanliklarning nur sochishidagi holga mutlaqo o'xshamaydi: bulardagi nur sochish yorug'likning chang zarrachalaridan qaytishi va sochilishidir. Shuning uchun bu tumanliklarning spektri, yulduzlar spektri singari yutilish spektridir. Albatta, tumanliklarda gaz va changlar aralash bo'lishi mumkin; u holda uning spektri yuqorida tavsiflanganidan murakkabroq bo'ladi.

Agar gaz tumanlik yaqinida, juda qizigan yulduz bo'lmasa, tumanlik ko'rinmaydi. Agar chang tumanlik yoritilmagan bo'lsa, uning qora tumanlik ko'rinishida mavjud ekanini uning «orqasida» turgan yulduzlardan kelayotgan yorug'likni yutib qolishiga qarab aniqlanadi.

Globullar (ya'ni «sharchalar») 1946 yilga kelib oq tumanliklar fonida dumaloqroq qora dog'lar ko'rinishida topilgan. Ular o'lchamlari bir necha ming astronomik birlik bo'lgan qora tumanliklardir. Ular katta va yorug'likni deyarli o'tkazmaydigan sharlardir. Ularni o'rganish, ehtimol, ular endi hosil bo'layotgan yulduzlardir degan fikrni bildirishga asos bo'ladi.

Planetar tumanliklarning o'lchamlari diffuz tumanliklarning o'lchamlariga qaraganda ancha kichik bo'ladi. Ular diametri bir necha sekunddan bir necha minutgacha bo'lgan va planetalarga o'xshash xira nur sochayotgan dumaloq yoki cho'zinchoq disk shaklida bo'ladi (8-rasm). Tumanlik markazida hamma vaqt O sinf (kamdan-kam Volf-Raye tipidagi yulduzlar) spektriga ega bo'lgan xira yulduz - tumanlikning yadrosi ko'rinadi.



8-rasm. Lira yulduz turkumidagi planetar tumanlik.

Ba'zan tuman diskning chetlari o'rtasiga qaraganda ancha yorug' nur sochadi va tumanlik halqasimon bo'lib ko'rinadi. Haqiqatda esa bu halqa bo'lmay nur sochuvchi gazdan tashkil topgan va markaziy sohalari ancha siyraklashgan shar yoki ellipsdir. Bu tumanliklarning spektrlari ham chiziqli bo'lib, bu chiziqlar orasida ionlashgan kislorod va azot chiziqlari ajralib turadi; bu chiziqlar gipotetik element «nebuliy»ga (nebula tumanlik so'zidan olingan) tegishlidir. Bular taqiqlangan chiziqlar deb ataluvchi chiziqlardir, chunki ularning vujudga kelishi uchun maxsus sharoitlar talab etiladi.

Ba'zi planetar tumanliklardagi spektr chiziqlarning siljishi ulardagi gazsimon qobiqlarning uzluksiz kengayib, markazdan - yadrodan hamma tomonga qarab uzoqlashib borishi natijasi ekanligi aniqlangan. Shunday qilib, tumanliklarning moddasi hamma vaqt yulduzdan sekundiga bir necha o'nlab kilometr tezlik bilan uzoqlashadi. Bu hodisa ularni yangi yulduzlar bilan bog'laydi; chunki yangi yulduzlarda ham portlab chiqqan gaz massalari to'xtovsiz uzoqlashadi; demak planetar tumanliklarni deyarli qisqa umrli osmon jismlari deb hisoblash mumkin. Bu tumanliklarning diametri planetalar sistemasi diametridan yuzlab va minglab marta katta.

Kosmogoniya va kosmologiya asoslari

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 qiziqarlidir. 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 71

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 ishxol 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?

4-AMALIY MASHG'ULOT: Ekzotik yulduzlar gravostarlar, bozon yulduzlar, kvark yulduzlar. Galaktikalarning shakllanishi.

Reja:

- 1. Protoyulduzlarning shakllanish jarayoni**
- 2. Protoyulduzlarning shakllanishi uchun zarur shartlar**
- 3. Protoyulduz rivojlanish bosqichlari**
- 4. Protoyulduzning yulduzga aylanishi va uning kelajakdagi evolyutsiyasi**

Molekulyar bulutlarning gravitatsion siqilishi.

Protoyulduzlarning shakllanishi molekulyar bulutlarning gravitatsion beqarorligi natijasida boshlanadi. Yulduzlararo muhitdagi katta massali gaz va chang bulutlari yetarlicha sovuq va zich bo'lganda, ularning ichki bosimi tortishish kuchiga bardosh bera olmaydi. Bu holat Jeans beqarorligi mezonini orqali aniqlanadi, ya'ni agar bulutning massasi **Jeans massasi** (M_J) dan katta bo'lsa, u gravitatsion kollapsga uchraydi. Shu jarayonda gaz va chang zarralari markaz tomon siqilib, zichlashadi va harorati oshadi.

Gravitatsion siqilish natijasida bulut bir necha fragmentlarga bo'linib, har biri individual yulduz shakllanishi uchun zarur bo'lgan materialni o'z ichiga oladi. Bu fragmentatsiya jarayoni natijasida hosil bo'ladigan yadro keyinchalik protoyulduz sifatida rivojlanadi.

Gravitatsion kollaps davomida hosil bo'lgan yadro energiya yo'qotishi sababli tobora zichlashib boradi. Siqilish natijasida molekulalar va atomlar orasidagi masofa qisqaradi, bu esa gazning ichki bosimini oshiradi. Shu bilan birga, markaziy yadro ichidagi harorat ortib, bir necha ming kelvingacha yetishi mumkin.

Bu bosqichda Kelvin-Helmholtz mexanizmi asosiy rol o'ynaydi. Protoyulduz o'z gravitatsion energiyasini termal energiyaga aylantirib, markaziy qismning tobora isishi va yorug'lanishiga olib keladi. Bu jarayon yadroda yetarlicha yuqori harorat (taxminan 2-3 million K) hosil bo'lishiga sabab bo'ladi, bu esa keyinchalik termoyadro sintezining boshlanishi uchun zarur shart hisoblanadi.

Protoyulduz rivojlanishining keyingi bosqichida markaziy qism tobora zichlashib, nurlanish orqali energiya yo'qotish qiyinlashadi. Natijada, nurlanish bosimi hosil bo'lib, bu bosim gaz va chang moddasining yanada siqilishiga qarshilik ko'rsatadi. Shu nuqtada protoyulduzning ichki qismida harorat 10 million kelvingacha yetishi mumkin, bu esa vodorod atomlarining termoyadro reaksiyalariga kirishishi uchun zarur sharoitni yaratadi.

Agar protoyulduzning massasi yetarlicha katta bo'lsa, vodorod yadrolari termoyadro reaksiyasiga kirishib, geliy hosil qiladi. Ushbu jarayon yulduz ichida energiyaning barqaror ishlab chiqarilishiga olib keladi va Kelvin-Helmholtz kontraksiyasining sekinlashishiga sabab bo'ladi. Bu bosqichdan so'ng protoyulduz o'zining yulduz sifatidagi asosiy rivojlanish bosqichiga o'tadi.

Protoyulduzlarning shakllanishi uchun zarur shartlar

Protoyulduzlarning shakllanishi bir qancha fizikaviy va kimyoviy omillarga bog'liq bo'lib, ular gravitatsion beqarorlik, termodinamik muvozanat va tashqi

ta'sirlarni o'z ichiga oladi. Ushbu shartlar yetarlicha bajarilmasa, molekulyar bulutlardan yulduz hosil bo'lish jarayoni to'xtashi yoki kechikishi mumkin.

Gravitatsion beqarorlik va Jeans mezoni

Molekulyar bulutning gravitatsion kollapsiga uchrashi uchun uning gravitatsion tortishish kuchi ichki bosim bilan muvozanatda bo'lmashligi kerak. Ushbu muvozanatni baholash uchun **Jeans mezoni** qo'llaniladi. Jeans mezoni bo'yicha, agar molekulyar bulut massasi **Jeans massasi** (M_J) dan katta bo'lsa, u siqilib, protoyulduz hosil qilishi mumkin. Jeans massasi quyidagi formula bilan ifodalanadi:

$$M_J = \left(\frac{5kT}{Gm} \right)^{3/2} \left(\frac{3}{4\pi\rho} \right)^{1/2}$$

bu yerda:

- k — Boltsman doimiysi,
- T — bulutning harorati,
- G — gravitatsion doimiysi,
- m — molekularining o'rtacha massasi,
- ρ — gaz zichligi.

Agar molekulyar bulutning massasi Jeans massasidan kichik bo'lsa, u gravitatsion kollapsiga uchramaydi va dispersiyaga uchrashi mumkin. Agar massasi kattaroq bo'lsa, bulut tortishish kuchi ostida zichlashib, protoyulduz shakllanishi uchun asosiy shartlardan birini bajargan bo'ladi.

Termodinamik va kimyoviy sharoitlar.

Protoyulduz shakllanishi uchun bulutning termodinamik xususiyatlari muhim ahamiyatga ega. Bu sharoitlar quyidagilarni o'z ichiga oladi:

- **Harorat va bosim muvozanati:** Molekulyar bulutlar odatda **10-50 K** oralig'ida haroratga ega bo'lib, gazning siqilishi uchun yetarlicha past harorat talab etiladi. Agar harorat ortib ketsa, bosim kuchayib, kollapsiga qarshilik kuchayadi.

- **Kimyoviy tarkib va sovish jarayoni:** Bulutdagi gaz tarkibidagi molekularlar (masalan, H_2 , CO va chang zarralari) nurlanish orqali energiyani yo'qotish va bulutning sovishini ta'minlaydi. Sovish jarayoni qanchalik samarali bo'lsa, gravitatsion siqilish shunchalik tez amalga oshadi.

- **Metalliklik darajasi:** Kimyoviy tarkibdagi og'ir elementlarning (C , O , Si) mavjudligi yulduz shakllanish jarayonini tezlashtirishi mumkin, chunki ular nurlanish orqali energiya tarqalishini kuchaytiradi.

Magnit maydon va burchak momentining ta'siri. Protoyulduz shakllanish jarayonida magnit maydon va burchak momenti hal qiluvchi omillardan biri hisoblanadi.

- **Magnit maydonning tormozlovchi ta'siri:** Molekulyar bulutlar o'zining magnit maydoniga ega bo'lib, u gravitatsion kollapsni qisman sekinlashtirishi mumkin. Agar magnit maydon kuchli bo'lsa, u gazning kollapsiga uchrashini kechiktiradi, natijada yulduz shakllanish jarayoni uzoqroq davom etadi. Ammo

magnit maydon juda kuchsiz bo'lsa, gaz to'planishi va siqilishi nisbatan tezlashadi.

- **Burchak momentining muvozanati:** Har qanday gaz buluti o'z o'qi atrofida aylanishga ega bo'lib, bu **burchak momenti** sifatida namoyon bo'ladi. Gravitatsion kollaps paytida burchak momenti saqlanib qoladi va hosil bo'layotgan protoyulduzning aylanish tezligi oshadi. Agar burchak momenti juda katta bo'lsa, gazning siqilishi sekinlashadi va to'planayotgan modda aylana disk hosil qiladi. Ushbu disk keyinchalik yulduz atrofidagi **protoplanetar diskka** aylanib, sayyoralar shakllanishi uchun asos yaratadi.

Shunday qilib, protoyulduz shakllanishi faqat gravitatsion kollaps natijasida emas, balki termodinamik, kimyoviy va elektromagnit jarayonlar bilan uzviy bog'liq holda sodir bo'ladi. Ushbu shartlarning bajarilishi yulduz hosil bo'lish jarayonining davomiyligi va natijasini belgilaydi.

Protoyulduz rivojlanish bosqichlari

Protoyulduz rivojlanishi bosqichma-bosqich sodir bo'lib, bu jarayonda gaz va chang zarralari yig'ilib, termoyadro reaksiyalarining boshlanishigacha davom etadi. Ushbu bosqichlar yulduz massasi va uning atrof-muhitidagi sharoitlar bilan chambarchas bog'liq. Quyida ushbu bosqichlarning asosiy jihatlari batafsil yoritiladi.

Yopiq akkretsiya va moddaning jamlanishi

Protoyulduz shakllanishining dastlabki bosqichida u atrofidagi gaz va chang moddasini tortib olib, massasini oshirib boradi. Ushbu jarayon **akkretsiya** deb nomlanadi.

- **Akkretsiya diskining shakllanishi** Molekulyar bulut gravitatsion kollapsga uchraganda, uning ichidagi modda bevosita yadroga tushib kelmaydi, balki burchak momentining saqlanishi tufayli disk hosil qiladi. Ushbu disk orqali modda asta-sekin protoyulduzga oqib keladi.

- **Akkretsiya tezligi va energiya chiqarilishi** Akkretsiya jarayonida gaz va chang zarrachalari yadroga tushganida tortishish energiyasini yo'qotadi, bu esa energiyaning issiqlik nurlanishi shaklida ajralishiga olib keladi. Ushbu nurlanish protoyulduz o'zining asosiy energiya manbai bo'lib xizmat qiladi.

- **Protoyulduzning yorqinligi** Protoyulduzning yorqinligi Kelvin-Helmholtz mexanizmi bo'yicha ortib boradi. Bu bosqichda hosil bo'layotgan yulduz asosan infraqizil diapazonda nurlanadi, chunki uning tashqi qatlamlari hali yetarlicha shaffof emas va aksariyat energiyani yutadi.

3.2. Ichki yadroda termoyadro reaksiyalarining boshlanishi

Protoyulduz rivojlanishining muhim bosqichi uning markazida termoyadro reaksiyalarining boshlanishidir.

- **Kelvin-Helmholtz siqilishi** Protoyulduz markazida gravitatsion siqilish davom etishi natijasida harorat va bosim ortib boradi. Ushbu jarayon Kelvin-Helmholtz mexanizmi orqali bosqichma-bosqich energiyaning issiqlik nurlanishi shaklida chiqarilishiga olib keladi.

- **Kritik haroratga yetishish** Protoyulduz markazidagi harorat taxminan **10 million K** ga yetganda, vodorod yadrolari gely hosil qilish uchun termoyadro reaksiyalariga kirisha boshlaydi. Ushbu jarayon **proton-proton zanjiri** yoki og'irroq yulduzlar uchun **CNO tsikli** orqali amalga oshiriladi.

- **Energetik muvozanat va barqarorlik** Termoyadro reaksiyalari

boshlangandan so'ng, yulduz ichidagi energiya ishlab chiqarish va tortishish kuchi muvozanatga keladi. Natijada, Kelvin-Helmholtz siqilishi sekinlashadi va yulduz o'zining asosiy ketma-ketlik bosqichiga o'tish uchun tayyor bo'ladi.

Tashqi qobiq va yulduz shamollari

Protoyulduz shakllanishining so'nggi bosqichida uning tashqi qatlami nurlanish bosimi ta'sirida tarqalib ketadi va hosil bo'layotgan yulduzning aniq chegaralari shakllana boshlaydi.

- **Tashqi qobiqning ajralishi** Protoyulduz markazida termoyadro reaksiyalari boshlanishi bilan u nurlanish bosimi hosil qila boshlaydi. Ushbu bosim yulduz tashqi qatlamlarini tashqariga itarib, uning atrofidagi gaz va chang qatlami yo'qolishiga sabab bo'ladi.

- **Yulduz shamollari va bipolar oqimlar** Rivojlanayotgan protoyulduz kuchli **yulduz shamollari** chiqaradi. Ushbu shamollar atrofidagi moddaning bir qismini itarib chiqaradi va yulduzning shakllanish jarayonini yakunlaydi. Bundan tashqari, protoyulduz aksariyat hollarda **bipolar oqimlar** (proplydlar) hosil qiladi. Ushbu oqimlar yulduz atrofidagi chang va gazni tozalaydi, natijada yulduz yanada yaqqol ko'rina boshlaydi.

- **Barqarorlikka erishish** Yulduz shamollari va tashqi qobiqning to'liq tarqalishi natijasida hosil bo'lgan yulduz muvozanatga erishadi va **asosiy ketma-ketlik** bosqichiga o'tadi. Ushbu bosqichda u vodorod termoyadro sintezi orqali energiya ishlab chiqaruvchi barqaror yulduzga aylanadi.

4.1. Protoyulduzning yulduzga aylanishi va uning kelajakdagi evolyutsiyasi

Protoyulduz shakllanish jarayoni yakunlangach, u barqaror yulduz sifatida rivojlana boshlaydi. Ushbu bosqich yulduzning **asosiy ketma-ketlikka o'tishi**, uning **ommaga bog'liq kelajak evolyutsiyasi**, va **turli sinflarga ajralishi** bilan tavsiflanadi.

Asosiy ketma-ketlikka o'tish jarayoni

Protoyulduz o'z atrofidan modda yig'ib, yetarlicha massa to'plagach, uning markaziy qismida termoyadro reaksiyalari doimiy ravishda sodir bo'lishi uchun yetarli sharoit shakllanadi. Bu jarayon quyidagi asosiy bosqichlarni o'z ichiga oladi:

- **Gravitatsion kollapsning yakunlanishi** Protoyulduz markazida termoyadro sintezi boshlanishi bilan yulduzning energiya chiqarishi kuchayadi. Ushbu energiya nurlanish bosimi orqali gravitatsion siqilishga qarshi muvozanat hosil qiladi. Natijada, yulduz barqaror shaklga ega bo'lib, **asosiy ketma-ketlik bosqichiga** o'tadi.

- **Yadro muvozanatining o'rnatilishi** Asosiy ketma-ketlik bosqichida yulduz vodorod atomlarini geliyga aylantirish orqali energiya ishlab chiqaradi. Ushbu jarayonda gravitatsion kuch va ichki nurlanish bosimi muvozanatga keladi. Bu bosqich **yulduzning eng uzun va barqaror hayotiy fazasi** bo'lib, yulduzning massasi va yadroda sodir bo'ladigan reaksiyalar turiga bog'liq holda davom etadi.

- **Kelvin-Helmholtz vaqtining tugashi** Agar yulduz yetarlicha kichik bo'lsa (masalan, **qizil mittilar**), uning asosiy ketma-ketlik bosqichi juda uzoq davom etishi mumkin (hatto yuzlab milliard yil). Agar yulduz massasi katta bo'lsa, u energiyani tezroq sarflaydi va nisbatan qisqa muddat ichida evolyutsiyaning keyingi bosqichlariga o'tadi.

Ommaga bog'liq bo'lgan kelajak evolyutsiyasi

Yulduzlarning kelajakdagi evolyutsiyasi ularning **boshlang'ich massasi** ga bog'liq bo'lib, ularni turli yo'nalishlarda rivojlanishga olib keladi. Quyida yulduzlarning massalariga qarab ularning kelajakdagi taqdiri qanday bo'lishi mumkinligi ko'rsatilgan:

Past massali yulduzlar ($M < 0.5M_{\odot}$)

- Bu toifaga **qizil mittilar** (masalan, Proksima Sentavri) kiradi.
- Ular vodorod yonishini juda sekin olib boradi va milliardlab yillar davomida deyarli o'zgarmay qoladi.
- Nihoyat, vodorod zahiralari tugaganda, ular asta-sekin **oq mittiga** aylanadi.

O'rtacha massali yulduzlar ($0.5M_{\odot} < M < 8M_{\odot}$)

- Ushbu toifaga **Quyoshga o'xshash yulduzlar** kiradi.
- Asosiy ketma-ketlik bosqichida taxminan 10 milliard yil davomida barqaror energiya ishlab chiqaradi.
- Vodorod tugagach, yadro siqilib, yulduz **qizil gigantga** aylanadi.
- Geliy va undan og'irroq elementlarning yonishi davom etadi.
- Hayotining oxirida yulduz tashqi qatlamlarini yo'qotib, **planetar tumanlik** hosil qiladi va uning yadrosi **oq mittiga** aylanadi.

Yuqori massali yulduzlar ($M > 8M_{\odot}$)

- Katta massali yulduzlar juda tez rivojlanib, vodorod yonishi tugagach, ketma-ket **geliy, uglerod, kislorod, neon, kremniy va temir** sintezini boshlaydi.
- Yadroda temir hosil bo'lishi bilan yadro kollapsi boshlanadi va yulduz **supernova portlashiga** olib keladi.
- Portlash natijasida yulduz **neytron yulduzi yoki qora tuynuk** ga aylanadi.

Yulduzlarning turli sinflarga ajralishi

Protoyulduzdan yulduzga aylanish jarayoni yulduzlarni turli sinflarga ajratadi. Ular harorat, yorqinlik va spektral xususiyatlarga qarab tasniflanadi. Yulduzlarning sinflanishi odatda **Harvard spektral tasnifi** asosida olib boriladi, bu tasnif yulduzlarni ularning sirt harorati va spektral xususiyatlariga qarab quyidagi sinflarga ajratadi:

Sinf	Harorat (K)	Rang	Misollar
O	30,000 - 50,000	Moviy	Rigel, Zeta Ophiuchi
B	10,000 - 30,000	Moviy-oq	Spika, Regulus
A	7,500 - 10,000	Oq	Siriy, Vega
F	6,000 - 7,500	Oq-sariq	Protsion, Canopus
G	5,200 - 6,000	Sariq	Quyosh, Alfa Centauri A

Sinf	Harorat (K)	Rang	Misollar
K	3,700 - 5,200	To'q sariq	Aldebaran, Arkturus
M	2,500 - 3,700	Qizil	Betelgeyze, Proxima Centauri

- **O va B sinf yulduzlari** juda issiq va yorqin bo'lib, ulardan ko'plab ultrabinafsha nurlanish tarqaladi.

- **A, F va G sinflar** o'rtacha harorat va yorqinlikka ega bo'lib, bu sinflarga Quyosh ham kiradi.

- **K va M sinflar** nisbatan past haroratli bo'lib, qizil rangda ko'rinadi va uzoq umr ko'radi.

Protoyulduz shakllangach, u **asosiy ketma-ketlik bosqichiga** o'tadi va vodorod yonishi natijasida uzoq muddat barqaror energiya chiqaradi. Yulduzning kelajakdagi evolyutsiyasi uning boshlang'ich massasi bilan bog'liq bo'lib, kichik massali yulduzlar uzoq umr ko'rgan holda oq mittilarga aylanadi, katta massali yulduzlar esa supernova portlashi orqali neytron yulduzlari yoki qora tuynuklarga aylanadi. Yulduzlar spektral xususiyatlariga qarab turli sinflarga ajratiladi, bu esa ularning fizik va kimyoviy jihatlarini o'rganishga yordam beradi.

Nazorat savollari:

1. Molekulyar bulutning gravitatsion kollapsga uchrashi qanday fizik shartlarga bog'liq va Jeans massasi bu jarayonda qanday rol o'ynaydi?
2. Magnit maydon va burchak momentining protoyulduz shakllanish jarayoniga ta'siri qanday namoyon bo'ladi?
3. Protoyulduz markazida termoyadro reaksiyalarining boshlanishi uchun qanday fizikaviy sharoitlar talab qilinadi va bu jarayon qanday natijalarga olib keladi?
4. Yulduzlarning kelajakdagi evolyutsiyasi ularning massasi bilan qanday bog'liq va ular qanday obyektlarga aylanishi mumkin?

5-AMALIY MASHG'ULOT: Galaktikalarning turlari. Gravastarlar, Bozon yulduzlar, kvark yulduzlar. (2 soat).

REJA:

1. **Galaktikalarning turlari.**
2. **Gravastarlar.**
3. **Bozon yulduzlar, kvark yulduzlar.**

Kompakt ob'ektlar tushunchasi va ularning tasnifi

Kompakt ob'ektlar – bu yulduzlarning evolyutsiyasi natijasida hosil bo'ladigan, o'ziga xos fizik xususiyatlarga ega bo'lgan, o'ta zich astronomik jismlardir. Ular gravitatsion kuch ta'sirida o'z hajmiga nisbatan juda katta massaga ega bo'lib, odatdagi yulduzlardan keskin farq qiladi.

Yulduzlarning hayot sikli davomida, ular termoyadro reaksiyalar orqali energiya ishlab chiqaradi. Biroq, yoqilg'isi tugagandan so'ng, ularning yadro bosimi tortish kuchiga qarshi tura olmaydi va kollaps holatiga o'tadi. Ushbu jarayon natijasida turli kompakt ob'ektlar hosil bo'ladi. Ular uchta asosiy toifaga bo'linadi:

Oq mittilar

- O'rtacha va past massali yulduzlarning evolyutsiyasi natijasida hosil bo'ladi.
- Elektron degeneratsiyasi bosimi yulduzning to'liq siqilishiga to'sqinlik qiladi.
- Massasi **Chandrasekhar chegarasi** (taxminan 1,4 quyosh massasi) dan oshmaydi.
- Vaqt o'tishi bilan sovib, qora mittiga aylanadi.

Neytron yulduzlar va pulsarlar

- O'rta massali yulduzlarning yakuniy bosqichi natijasida hosil bo'ladi.
- Yulduz yadrosi gravitatsion kollapsga uchraydi va **neytron degeneratsiyasi** natijasida neytron yulduz hosil bo'ladi.
- Juda kuchli magnit maydonga ega bo'lib, ba'zilar **pulsar** sifatida kuzatiladi, ya'ni muntazam ravishda elektromagnit impul'slar chiqaradi.
- Ularning massasi **Tolman-Oppenheimer-Volkoff chegarasi** (taxminan 2,5 quyosh massasi) dan oshmaydi.

Qora tuynuklar

- Juda katta massali yulduzlarning yakuniy bosqichi natijasida hosil bo'ladi.
- Gravitatsion kollaps natijasida yulduzning barcha moddasi bitta nuqtaga jamlanib, **hodisalar gorizonti** hosil bo'ladi.
- Shvartssild radiusi doirasida hech qanday yorug'lik yoki moddalar qochib chiqolmaydi.
- **O'ta massiv qora tuynuklar** galaktikalarning markazida joylashgan bo'lishi mumkin.

Bu kompakt ob'ektlarning kuzatilishi astronomik texnologiyalar rivojlanishi bilan yanada aniqroq bo'lib bormoqda. Ayniqsa, rentgen teleskoplar, gravitatsion to'lqin detektorlar va radio teleskoplar ushbu obyektlarni tadqiq qilishda muhim rol o'ynaydi.

Oq mittilar va ularning xususiyatlari

Oq mittilar – bu yulduz evolyutsiyasining oxirgi bosqichida hosil bo‘ladigan, o‘ta zich va nisbatan kichik astronomik jismlar bo‘lib, ular asosan o‘rtacha va past massali yulduzlarning (masalan, Quyoshning) yoqilg‘isi tugagach vujudga keladi. Oq mittilar o‘zining zichligi, kichik hajmi va yuqori harorati bilan ajralib turadi.

Hosil bo‘lish jarayoni

- O‘rtacha massali yulduzlar (taxminan 0,5–8 Quyosh massasi) hayotining oxirida **qizil gigant** bosqichidan o‘tadi.
- Ularning tashqi qatlamlari **planetar tumanlik** sifatida sochiladi, markaziy qismi esa siqilib, oq mittiga aylanadi.
- Ushbu jarayonda yulduz yadrosi elektron degeneratsiyasi bosimi tufayli to‘liq kollapsga uchramaydi.

Xususiyatlari

Juda yuqori zichlik

- Oq mittining massasi deyarli Quyoshga teng bo‘lsa ham, uning diametri atigi **10 000 km** atrofida bo‘ladi (Yer hajmiga yaqin).
- Bu shuni anglatadiki, uning zichligi o‘ta yuqori – **bir choy qoshiq moddasi millionlab tonna** bo‘lishi mumkin.

Chandrasekhar chegarasi

- Oq mittining maksimal massasi **1,4 Quyosh massasi** dan oshishi mumkin emas.
- Agar bu chegaradan oshsa, yulduz neytron yulduz yoki qora tuynukka aylanishi mumkin.

Elektron degeneratsiyasi bosimi

- Oq mittilar termoyadro sintezini davom ettirmaydi, lekin ularning materiyasi **elektron degeneratsiyasi** tufayli siqilishdan himoyalangan bo‘ladi.

Issiqlik nurlanishi va sovish jarayoni

- Yangi hosil bo‘lgan oq mittilar juda issiq bo‘lib, harorati **100 000 K** gacha yetishi mumkin.
- Ular o‘zidan yorug‘lik nurlantirishda davom etadi, ammo termoyadro reaksiyalari bo‘lmaganligi sababli asta-sekin soviydi.
- Nihoyat, trillionlab yillar o‘tgach, ular **qora mittiga** aylanadi.

Ikki yulduzli tizimlarda portlash ehtimoli

- Agar oq mitti boshqa yulduz bilan **ikki yulduzli tizimda** bo‘lsa, u o‘z hamroh yulduzidan modda tortib olishi mumkin.
- Oq mittiga modda yig‘ilishi davom etsa va massasi **Chandrasekhar chegarasi** dan oshsa, u **Ia tipli supernova** sifatida portlashi mumkin.

Spektral xususiyatlari

- Oq mittilar kuchli tortish kuchi tufayli ingichka atmosfera qatlamiga ega bo‘ladi.
- Ularning spektri asosan vodorod (DA tip) yoki geliy (DB tip) chiziqlarini o‘z ichiga oladi.

Muhim ahamiyati

Oq mittilar koinot evolyutsiyasini tushunishda muhim rol o‘ynaydi. Ayniqsa, **Ia tipli supernovalar** orqali olimlar olis galaktikalar orasidagi masofani aniqlashadi,

bu esa **kengayib borayotgan koinot** nazariyasini tasdiqlashga yordam beradi.

Oq mittilar hali ham astronomlarning tadqiqot obyekti bo'lib, ular orqali yulduzlarning o'limi, degenerativ materiya xususiyatlari va koinotning uzoq kelajakdagi evolyutsiyasi haqida ko'plab ma'lumotlar olinmoqda.

Neytron yulduzlar va pulsarlar.

Neytron yulduzlar – bu juda yuqori zichlikka ega bo'lgan, o'ta zich astronomik jismlar bo'lib, ular og'ir massali yulduzlarning hayotining oxirida yuzaga keladi. Ushbu yulduzlar **katta massali yulduzlarning supernova portlashi natijasida** hosil bo'ladi. Portlash paytida yulduzning tashqi qatlamlari kosmosga sochilib, markaziy qismi siqilib, neytron yulduzga aylanadi.

Neytron yulduzlarning hosil bo'lish jarayoni

Supernova portlashi – katta massali (8-30 Quyosh massasi) yulduzlar termoyadro yoqilg'isini tugatgandan so'ng, yadrosi o'z-o'zidan kollapsga uchraydi va kuchli portlash yuz beradi.

Gravitatsion kollaps – yadro materiyasi shunday siqiladiki, protonlar va elektronlar neytronlarga birlashadi.

Neytron degeneratsiyasi – hosil bo'lgan neytronlar degeneratsiya bosimini hosil qilib, yulduzning to'liq qulashiga to'sqinlik qiladi.

Neytron yulduzlarning xususiyatlari

- **Juda yuqori zichlik** – bir choy qoshiq neytron yulduz moddasi milliardlab tonnaga teng bo'lishi mumkin.

- **Kichik hajm** – neytron yulduzining diametri odatda **10-20 km** atrofida bo'ladi.

- **Tez aylanish** – bu yulduzlar **sekundiga yuzlab aylanish** tezligiga ega bo'lishi mumkin.

- **Kuchli magnit maydon** – neytron yulduzlarning magnit maydoni Yerning magnit maydonidan **trillion barobar kuchli** bo'lishi mumkin.

- **Gravitatsiya ta'siri** – neytron yulduzning tortish kuchi juda katta bo'lib, uning sirtida **yorug'lik tezligi 30-40% gacha sekinlashadi**.

Pulsarlar

Pulsarlar – bu yuqori tezlikda aylanuvchi va kuchli magnit maydonga ega bo'lgan neytron yulduzlar bo'lib, ular muntazam **radio, rentgen yoki gamma nurlanish impuls**larini chiqaradi.

Pulsarlarning hosil bo'lishi va ishlash mexanizmi

- **Tez aylanish** – supernova portlashi natijasida yulduzning burchak momenti saqlanib qoladi va bu neytron yulduzning juda tez aylanishiga sabab bo'ladi.

- **Magnitosfera** – kuchli magnit maydon zaryadlangan zarralarni tezlashtiradi va nurlanish hosil qiladi.

- **Lighthouse effekti** – agar neytron yulduzning magnit o'qi aylanish o'qi bilan mos kelmasa, unda uning nurlanishi kuzatuvchilar uchun puls sifatida ko'rinadi.

Pulsarlarning asosiy xususiyatlari

- **Muntazam pulslar** – radio va rentgen nurlari aniq davriylik bilan takrorlanadi.

- **Aylanish davri** – pulsarlar odatda **bir necha millisekunddan bir necha soniyagacha** bo‘lgan aylanish davriga ega.

- **Eng mashhur pulsar** – "**Crab pulsar**" (**Qisqichbaqa tumanligida joylashgan**)

Magnetarlar – maxsus neytron yulduzlari

Ba’zi neytron yulduzlar **o‘ta kuchli magnit maydon** bilan ajralib turadi. Ular **magnetarlar** deb ataladi va **gamma hamda rentgen portlashlari** bilan ajralib turadi.

Neytron yulduzlar va pulsarlarni kuzatish usullari

- **Radio teleskoplar** – pulsarlarning radio impulslarini aniqlash uchun ishlatiladi.

- **Rentgen va gamma teleskoplar** – magnetarlar va o‘ta energiyali neytron yulduzlarni kuzatishda ishlatiladi.

- **Gravitatsion to‘lqin detektorlari** – neytron yulduzlar birlashganida yuzaga keladigan gravitatsion to‘lqinlarni aniqlash uchun qo‘llaniladi.

Neytron yulduzlar va pulsarlarning ahamiyati

- Koinot evolyutsiyasini o‘rganish
- Ekstremal fizik sharoitlarni o‘rganish (noyob kvant effektlari, tortishish kuchi ta’siri)

- Kosmik navigatsiya va vaqt o‘lchash (pulsarlar tabiiy "soat" sifatida ishlatiladi)

Neytron yulduzlar va pulsarlar astronomiyada juda muhim o‘ringa ega bo‘lib, ular fizik qonunlarni sinash uchun tabiiy laboratoriyalar sifatida qaraladi.

Qora tuynuklar va ularni kuzatish usullari.

Qora tuynuk tushunchasi

Qora tuynuk – bu fazo-vaqtning shunday sohasi bo‘lib, uning tortish kuchi shu qadar katta bo‘ladiki, hattoki yorug‘lik ham undan chiqib keta olmaydi. Qora tuynuklar **gravitatsion kollaps** natijasida hosil bo‘lib, juda katta zichlikka ega bo‘lgan kompakt ob’ektlar hisoblanadi. Ularning mavjudligi umumiy nisbiylik nazariyasi (Einstein) tomonidan oldindan bashorat qilingan.

Qora tuynuklarning hosil bo‘lishi

Qora tuynuklar yulduzlarning evolyutsiyasi natijasida yoki boshqa jarayonlar orqali hosil bo‘lishi mumkin:

Katta massali yulduzlarning supernova portlashi – agar yulduzning massasi **Tolman-Oppenheimer-Volkoff chegarasi** (taxminan 3 Quyosh massasi) dan katta bo‘lsa, uning yadrosi neytron yulduz sifatida barqaror qololmaydi va qora tuynukka aylanadi.

Neytron yulduzlarning birlashishi – ikkita neytron yulduz to‘qnashib, natijada qora tuynuk hosil qilishi mumkin.

Kosmik koinot torlari va kvant jarayonlari – nazariy jihatdan, katta energiyali jarayonlar orqali ham qora tuynuklar hosil bo‘lishi mumkin.

Qora tuynuklarning asosiy xususiyatlari

- **Hodisalar gorizonti** – qora tuynukning chegarasi bo‘lib, undan hech narsa chiqib keta olmaydi.

- **Shvartsschild radiusi** – qora tuynukning minimal radiusi bo‘lib, u yulduz

massasi bilan bog'liq.

- **Singulyarlik** – qora tuynuk markazida barcha materiya **cheksiz zichlikka** ega bo'lgan nuqtada joylashgan.

- **Gravitatsion vaqt kengayishi** – qora tuynuk yaqinida vaqt tashqaridan kuzatuvchilar uchun sekinroq o'tadi.

- **Gravitatsion linzalash** – qora tuynuk atrofidagi yorug'lik egilib, uning orqasidagi jismlar g'ayrioddiy shakllarda ko'rinadi.

Qora tuynuklarning turlari

Yulduz massali qora tuynuklar – taxminan 3-100 Quyosh massasi atrofida bo'lib, katta yulduzlar qulaganda hosil bo'ladi.

O'ta massiv qora tuynuklar – million yoki milliard Quyosh massasiga ega bo'lib, galaktikalar markazida joylashgan.

O'rta massali qora tuynuklar – o'rta massali (100-10 000 Quyosh massasi) qora tuynuklar nazariy jihatdan mavjud bo'lishi mumkin, ammo ular hali to'liq tasdiqlanmagan.

Mikro qora tuynuklar – nazariy jihatdan kichik qora tuynuklar kvant effektlari orqali hosil bo'lishi mumkin.

Qora tuynuklarni kuzatish usullari

Qora tuynuklarning o'zi yorug'lik chiqarmaydi, shuning uchun ularni bevosita ko'rish imkonsiz. Lekin ularni turli usullar bilan kuzatish mumkin:

1. Akretsiya diski va rentgen nurlanishi orqali

- Qora tuynukka yaqinlashgan modda juda issiqlashib, **rentgen nurlar** chiqaradi.

- Masalan, **Cygnus X-1** qora tuynugi ushbu usul orqali aniqlandi.

2. Gravitatsion linzalash

- Agar qora tuynuk orqasida joylashgan yorug' ob'ekt bo'lsa, uning yorug'ligi qora tuynuk tomonidan **egilib**, g'ayrioddiy tasvir hosil qiladi.

- Bu usul yordamida qora tuynuklar bilvosita aniqlanadi.

3. Gravitatsion to'liqlar orqali

- **LIGO va Virgo detektorlari** ikkita qora tuynukning birlashishi natijasida yuzaga keladigan **gravitatsion to'liqlarni** aniqlaydi.

- 2015-yilda **birinchi marta** qora tuynuklarning birlashishi kuzatilgan.

4. Yulduzlarning orbital harakati orqali

- Agar yulduz qora tuynuk atrofida harakatlanayotgan bo'lsa, uning g'ayrioddiy orbital xatti-harakatlari qora tuynukning mavjudligiga ishora qiladi.

- **Sagittarius A*** galaktikamiz markazidagi qora tuynuk shu usul bilan aniqlandi.

5. Bevosita tasvir olish (Event Horizon Telescope)

2. 2019-yilda **Event Horizon Telescope** yordamida **M87** galaktikasining markazidagi o'ta massiv qora tuynukning tasviri olingan.

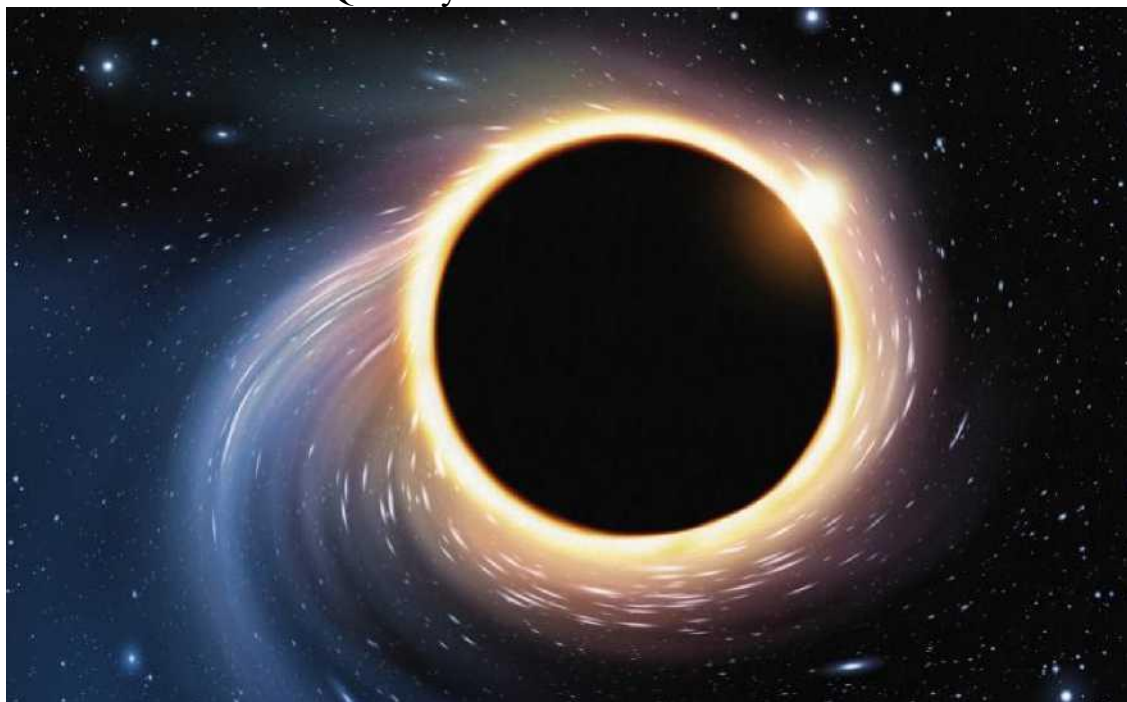
Qora tuynuklarning ahamiyati

- Umumiy nisbiylik nazariyasini tekshirish
- Koinotning o'ta kuchli gravitatsiya sharoitlarini o'rganish
- Galaktikalarning shakllanishi va evolyutsiyasini tushunish
- Kvant tortishish nazariyalarini sinash

Qora tuynuklar eng sirli va g'ayrioddiy astronomik obyektlardan biri bo'lib, ularni tadqiq qilish orqali fizika va kosmologiya bo'yicha fundamental qonunlar aniqlanmoqda.



1-rasm. Qora tuynuk suratlari.



2-rasm. Qora tuynuk suratlari.

Nazorat savollari:

1. Kompakt ob'ektlar qanday astronomik jismlar hisoblanadi?

2. Kompakt ob'ektlarning asosiy turlari qaysilar?
3. Yulduz evolyutsiyasi natijasida kompakt ob'ektlar qanday hosil bo'ladi?
4. Chandrasekhar chegarasi nima va uning ahamiyati qanday?
5. Tolman-Oppenheimer-Volkoff chegarasi qanday kompakt ob'ektlar bilan bog'liq?
6. Oq mittilar qanday yulduzlarning evolyutsiyasi natijasida hosil bo'ladi?
7. Oq mittilar qanday fizik xususiyatlarga ega?
8. Oq mittining massasi qanday maksimal qiymatdan oshib keta olmaydi va nima uchun?
9. Oq mittilar qanday usullar bilan kuzatiladi?
10. Ikki yulduzli tizimlardagi oq mittilar qanday portlashga olib kelishi mumkin?
11. Neytron yulduz qanday jarayon natijasida hosil bo'ladi?
12. Pulsarlar nima va ular qanday nurlanish hosil qiladi?
13. Neytron yulduzlar nega juda yuqori zichlikka ega?
14. Magnetarlar oddiy neytron yulduzlardan qanday farq qiladi?
15. Qora tuynuklarning mavjudligi qanday eksperimental va nazariy dalillar orqali isbotlangan?

IV. ГЛОССАРИЙ

Термин	Ўзбек тилидаги шарҳи	Инглиз тилидаги шарҳи
Астрономия	Осмон жисмларни ўрганадиган табиий фан	Astronomy (from Greek: <i>ἀστρονομία</i> , literally meaning the science that studies the laws of the stars) is a natural science that studies celestial objects and phenomena.
Астрофизика	Осмон жисмларни ва жараёнларни физик методлар ва принциплар орқали ўрганадиган фан	Astrophysics is a science that employs the methods and principles of physics in the study of astronomical objects and phenomena.
Адронлар	Кучли ўзаро таъсирда иштирок этувчи элементар зарралар	In particle physics, a hadron is a composite particle made of quarks held together by the strong force in a similar way as the electromagnetic force holds molecules together.
Адронларнинг кварк моделлари	адронларнинг элементар ташкил этувчилар — кваркларнинг боғланган тизимидан иборат деб қаралувчи модели.	A quark is an elementary particle and a fundamental constituent of matter. Quarks combine to form composite particles called hadrons, the most stable of which are protons and neutrons, the components of atomic nuclei. Due to a phenomenon known as color confinement, quarks are never directly observed or found in isolation; they can be found only within hadrons, such as baryons (of which protons and neutrons are examples), and mesons.
Бозон	бутун сонли спинга эга бўлган заррача	In quantum mechanics , a boson is a particle that follows Bose–Einstein statistics . Bosons make up one of the two classes of particles , the other being fermions . The name boson was coined by Paul Dirac ^[4] to commemorate the contribution of the Indian physicist Satyendra Nath Bose ^{[5][6]} in developing, with Einstein, Bose–Einstein statistics —which theorizes the characteristics of elementary particles. Bosons are integer spin particles.
Буюк бирлашув	кучли, кучсиз ва электромагнит ўзаро	Great integration of the fundamental interactions, also known

	таъсирларнинг ягона табиатига эга эканлиги ҳақидаги тасаввурга асосланган фундаментал физикавий ҳодисаларнинг назарий модели	as fundamental forces, are the interactions in physical systems that do not appear to be reducible to more basic interactions. There are four conventionally accepted fundamental interactions— gravitational , electromagnetic , strong nuclear , and weak nuclear . Each one is understood as the dynamics of a <i>field</i> . The gravitational force is modelled as a continuous classical field . The other three are each modelled as discrete quantum fields , and exhibit a measurable unit or elementary particle .
Вайнберг-Салам назарияси	электромагнит ва кучсиз ўзаро таъсирларнинг бирлашган назарияси.	Electromagnetic and weak interactions unified theory. In particle physics , the electroweak interaction is the unified description of two of the four known fundamental interactions of nature: electromagnetism and the weak interaction . Although these two forces appear very different at everyday low energies, the theory models them as two different aspects of the same force. Above the unification energy , on the order of 100 GeV , they would merge into a single electroweak force .
Галактика	юлдузлар, юлдуз туркумлари, юлдузлараро газ ва чанг, ҳамда қоронғи моддадан иборат гравитацион боғланган тизим	Stars, constellations, interstellar gas and dust, and dark matter to gravitationally bound system. The Milky Way is the galaxy that contains our Solar System . Its name "milky" is derived from its appearance as a dim glowing band arching across the night sky whose individual stars cannot be distinguished by the naked eye.
Гамма-Астрономия	турлича космик манбаларини уларнинг гамма-диапазонидаги (тул^ин узунликлари $L < 10^{-12}$ м, фотон энергияси эса $\epsilon > 10^5$ эВ булган)	Gamma-ray astronomy is the astronomical observation of gamma rays , ^[nb 1] the most energetic form of electromagnetic radiation , with photon energies above 100 keV . Radiation below 100 keV is classified as X-rays

	электромагнит нурланишлари ўрганувчи бўлими. бўйича астрономия	and is the subject of X-ray astronomy. September 02 2011 Fermi Second catalog of Gamma Ray Sources constructed over 2 years. An all sky image showing energies greater than 1 billion electron volts (1 GeV) ub. Brighter colors indicate gamma-ray sources. Gamma rays in the MeV range are generated in solar flares (and even in the Earth's atmosphere), but gamma rays in the GeV range do not originate in the Solar System and are important in the study of extrasolar, and especially extra-galactic astronomy.
Глюон	бирга тенг спинли ва нолга тенг тинчлик массали ҳамда кварклар орасидаги кучли ўзаро таъсирни ташувчи электрик нейтрал зарра.	Gluons are elementary particles that act as the exchange particles (or gauge bosons) for the strong force between quarks, analogous to the exchange of photons in the electromagnetic force between two charged particles.^[6] In layman terms, they "glue" quarks together, forming protons and neutrons. In technical terms, gluons are vectorgauge bosons that mediate strong interactions of quarks in quantum chromodynamics (QCD). Gluons themselves carry the color charge of the strong interaction.
Ёруғлик йили	астрономияда қўлланиладиган узунлик бирлиги; ёруғлик бир йилда босиб ўтадиган масофага тенг. (1 Ё.й. = $9,4605 \cdot 10^{15}$м)	A light-year (or light year, abbreviation: ly) is a unit of length used informally to express astronomical distances. It is approximately 9 trillionkilometres (or about 6 trillion miles).As defined by the International Astronomical Union (IAU), a light-year is the distance that light travels in vacuum in one Julian year (365.25 days). Because it includes the word <i>year</i>, the term <i>light-</i>

		<i>year</i> is sometimes misinterpreted as a unit of time.
Инфлатон	Бошланғич коинотни яратувчи скаляр заррача ва майдон.	The inflaton field is a hypothetical scalar field which is conjectured to have driven cosmic inflation in the very early universe.
Кучсиз ўзаро таъсир	бир неча аттометрдан (10^{-18} м) кичик масофаларда элементар зарралар орасидаги ўзаро таъсир; бундай ўзаро таъсир хусусан атом ядроларининг бета-эмирилишига олиб келади.	In particle physics , the weak interaction is the mechanism responsible for the weak force or weak nuclear force , one of the four known fundamental interactions of nature, alongside the strong interaction , electromagnetism , and gravitation . The weak interaction is responsible for the radioactive decay of subatomic particles , and it plays an essential role in nuclear fission . The theory of the weak interaction is sometimes called quantum flavordynamics (QFD) , in analogy with the terms QCD and QED , but the term is rarely used because the weak force is best understood in terms of electro-weak theory (EWT).
Квазар	узоқлашган галактиканинг фаол ўзагидан иборат бўлган қудратли космик электромагнит нурланиш манбаи.	Quasars or quasi-stellar radio sources are the most energetic and distant members of a class of objects called active galactic nuclei (AGN). Quasars are extremely luminous and were first identified as being high redshift sources of electromagnetic energy , including radio waves and visible light , that appeared to be similar to stars , rather than extended sources similar to galaxies . Their spectra contain very broad emission lines , unlike any known from stars, hence the name "quasi-stellar."
Кварклар	ҳозирга тасаввурга кўра барча адронларнинг таркибий қисмларини ташкил қилувчи фундаментал заррачалар.	A quark (/'kwɔːrk/ or /'kwaːrk/) is an elementary particle and a fundamental constituent of matter . Quarks combine to form composite particles called hadrons , the most stable of which are protons and

		neutrons, the components of atomic nuclei.^[1] Due to a phenomenon known as color confinement, quarks are never directly observed or found in isolation; they can be found only within hadrons, such as baryons (of which protons and neutrons are examples), and mesons. For this reason, much of what is known about quarks has been drawn from observations of the hadrons themselves.
Коинот	моддий дунёнинг кузатиш мумкин бўлган қисми.	part of the material world that can be observed. The Universe is all of time and space and its contents. The Universe includes planets, natural satellites, minor planets, stars, galaxies, the contents of intergalactic space, the smallest subatomic particles, and all matter and energy. The observable universe is about 28 billion parsecs (91 billion light years) in diameter at the present time. The size of the whole Universe is not known and may be either finite or infinite.
Коллайдер	зарядланган зарраларнинг қарама – қарши дасталарининг учрашуви юз берадиган тезлатгич.	A collider is a type of particle accelerator involving directed beams of particles. Colliders may either be ring accelerators or linear accelerators, and may collide a single beam of particles against a stationary target or two beams head-on. Colliders are used as a research tool in particle physics by accelerating particles to very high kinetic energy and letting them impact other particles. Analysis of the byproducts of these collisions gives scientists good evidence of the structure of the subatomic world and the laws of nature governing it. These may become apparent only at high energies and for tiny periods of time, and therefore may be hard or impossible to study in other ways.

Космик радионурланиш	космик объектларнинг радиотўлқинлар соҳасида электромагнит нурланиши.	Space objects in the field of radio electromagnetic radiation. Radio waves are a type of electromagnetic radiation with wavelengths in the electromagnetic spectrum longer than infrared light. Radio waves have frequencies from 3 THz to as low as 3 kHz , and corresponding wavelengths ranging from 100 micrometers (0.0039 in) to 100 kilometers (62 mi). Like all other electromagnetic waves, they travel at the speed of light . Naturally occurring radio waves are made by lightning , or by astronomical objects .
Кучли ўзаро таъсир	бир нечта фемтометрдан (10^{-15} м) кичик масофаларда адронлар орасидаги ўзаро таъсир. Хусусан, атом ядроларидаги нуклонларнинг ўзаро боғланишини таъминлайди.	In particle physics , the strong interaction is the mechanism responsible for the strong nuclear force (also called the strong force , nuclear strong force), one of the four known fundamental interactions of nature, the others being electromagnetism , the weak interaction and gravitation . Despite only operating at a distance of a femtometer , it is the strongest force, being approximately 100 times stronger than electromagnetism, a million times stronger than weak interaction and 10^{38} times stronger than gravitation at that range.
Лептонлар	кучли ўзаро таъсирда иштирок этмайдиган элементар зарраларнинг умумий номи.	A lepton is an elementary , half-integer spin (spin $\frac{1}{2}$) particle that does not undergo strong interactions . ^[1] Two main classes of leptons exist: charged leptons (also known as the electron-like leptons), and neutral leptons (better known as neutrinos). Charged leptons can combine with other particles to form various composite particles such as atoms and positronium , while neutrinos rarely interact with anything, and are

		consequently rarely observed. The best known of all leptons is the electron .
Майдон назарияси	элементар зарралар хоссалари ва ўзаро таъсирларининг барча хилма-хиллигини унча кам сонли универсал тамойилларга келтиришга қаратилган материянинг ягона назарияси.	In physics , a unified field theory (UFT), occasionally referred to as a uniform field theory , ^[1] is a type of field theory that allows all that is usually thought of as fundamental forces and elementary particles to be written in terms of a single field . There is no accepted unified field theory, and thus it remains an open line of research. The term was coined by Einstein , who attempted to unify the general theory of relativity with electromagnetism . The " theory of everything " and Grand Unified Theory are closely related to unified field theory, but differ by not requiring the basis of nature to be fields, and often by attempting to explain physical constants of nature .
Мюонлар	массаси электрон массасидан тақрибан 207 марта катта ва электромагнит ҳамда кучсиз ўзаро таъсирларда иштирок этувчи зарядланган элементар зарралар.	The muon is an elementary particle similar to the electron , with electric charge of $-1\ e$ and a spin of $\frac{1}{2}$, but with a much greater mass. It is classified as a lepton . As is the case with other leptons, the muon is not believed to have any sub-structure— that is, it is not thought to be composed of any simpler particles. The muon is an unstable subatomic particle with a mean lifetime of 2.2 μs . Among all known unstable subatomic particles , only the neutron (lasting around 15 minutes) and some atomic nuclei have a longer decay lifetime; others decay significantly faster.
Нейтрон юлдузлар	юлдузларнинг ички тузилиши назариясига кўра озгина электронлар аралашган нейтронлардан	A neutron star is a type of compact star . Neutron stars are the smallest and densest stars known to exist in the Universe . With a radius of

	ўта оғир атом ядролари ва протонлардан ташкил топган энг зич юлдузлар.	only about 11–11.5 km (7 miles), they can, however, have a mass of about twice that of the Sun. They can result from the gravitational collapse of a massive star that produces a supernova. Neutron stars are composed almost entirely of neutrons, which are subatomic particles with no net electrical charge and with slightly larger mass than protons. They are supported against further collapse by quantum degeneracy pressure due to the phenomenon described by the Pauli exclusion principle.
Нуклеосинтез	енгилроқ ядролардан оғирроқ ядролар ҳосил бўлишига олиб келувчи ядровий реакциялар занжири.	Nucleosynthesis is the process that creates new atomic nuclei from pre-existing nucleons, primarily protons and neutrons. The first nuclei were formed about three minutes after the Big Bang, through the process called Big Bang nucleosynthesis. It was then that hydrogen and helium formed to become the content of the first stars, and this primeval process is responsible for the present hydrogen/helium ratio of the cosmos. With the formation of stars, heavier nuclei were created from hydrogen and helium by stellar nucleosynthesis, a process that continues today.
Оқ миттилар	массалари Қуёш массаси таркибида бўлган ва радиуслари Қуёш радиусининг $\sim 0,01$ ҳиссасини ташкил қилувчи кичик юлдузлар.	A white dwarf, also called a degenerate dwarf, is a stellar remnant composed mostly of electrondegenerate matter. A white dwarf is very dense: its mass is comparable to that of the Sun, while its volume is comparable to that of Earth. A white dwarf's faint luminosity comes from the emission of stored thermal energy; no fusion takes place in a white dwarf wherein mass is converted to energy. The nearest known white dwarf is Sirius B, at 8.6 light years, the smaller

		component of the Sirius binary star. There are currently thought to be eight white dwarfs among the hundred star systems nearest the Sun.^[1] The unusual faintness of white dwarfs was first recognized in 1910. The name <i>white dwarf</i> was coined by Willem Luyten in 1922. The universe has not been alive long enough to experience a white dwarf releasing all of its energy as it will take close to a trillion years.
Парсек	астрономияда ишлатиладиган узунлик бирлиги; $1\text{пк}=3,0857 \cdot 10^{16}\text{м}$.	A parsec (symbol: pc) is a unit of length used to measure large distances to objects outside the Solar System. One parsec is the distance at which one astronomical unit subtends an angle of one arcsecond.^[1] A parsec is equal to about 3.26 light-years (31 trillion kilometres or 19 trillion miles) in length. The nearest star, Proxima Centauri, is about 1.3 parsecs (4.24 light-years) from the Sun. Most of the stars visible to the unaided eye in the nighttime sky are within 500 parsecs of the Sun.
Позитрон	катталиги жиҳатдан электрон зарядига тенг мусбат зарядли, массаси электрон массасига тенг бўлган элементар зарра, электронга нисбатан антизарра.	The positron or antielectron is the antiparticle or the antimatter counterpart of the electron. The positron has an electric charge of $+1\ e$, a spin of $\frac{1}{2}$, and has the same mass as an electron. When a low-energy positron collides with a low-energy electron, annihilation occurs, resulting in the production of two or more gamma ray photons (see electron–positron annihilation). Positrons may be generated by positron emission radioactive decay (through weak interactions), or by pair production from a sufficiently energetic photon which is interacting with an atom in a material.

Фермион	ярим бутун спинга эга бўлган заррача.	In particle physics, a fermion (a name coined by Paul Dirac from the surname of Enrico Fermi) is any particle characterized by Fermi–Dirac statistics. These particles obey the Pauli exclusion principle. Fermions include all quarks and leptons, as well as any composite particle made of an odd number of these, such as all baryons and many atoms and nuclei. Fermions differ from bosons, which obey Bose–Einstein statistics. A fermion can be an elementary particle, such as the electron, or it can be a composite particle, such as the proton. According to the spin-statistics theorem in any reasonable relativistic quantum field theory, particles with integer spin are bosons, while particles with half-integer spin are fermions.
Хаббл доимийси	кўринувчи Коинотнинг космологик кенгайиши туфайли галактикадан ташқари объектларнинг узоқлашиши тезликлари билан уларгача бўлган масофалар орасидаги боғланишлардаги мутаносиблик коэффициенти.	The value of the Hubble constant is estimated by measuring the redshift of distant galaxies and then determining the distances to the same galaxies (by some other method than Hubble's law). Uncertainties in the physical assumptions used to determine these distances have caused varying estimates of the Hubble constant. The value of the Hubble constant was the topic of a long and rather bitter controversy between Gérard de Vaucouleurs, who claimed the value was around 100, and Allan Sandage, who claimed the value was near 50. In 1996, a debate moderated by John Bahcall between Sidney van den Bergh and Gustav Tammann was held in similar fashion to the earlier Shapley-Curtis debate over these two competing values.

Юлдуз туркумлари	бирдай ёшдаги ва биргаликда вужудга келган гравитацион боғланган юлдузлар гуруҳлари.	Star clusters or star clouds are groups of stars. Two types of star clusters can be distinguished: globular clusters are tight groups of hundreds or thousands of very old stars which are gravitationally bound, while open clusters, more loosely clustered groups of stars, generally contain fewer than a few hundred members, and are often very young. Open clusters become disrupted over time by the gravitational influence of giant molecular clouds as they move through the galaxy, but cluster members will continue to move in broadly the same direction through space even though they are no longer gravitationally bound; they are then known as a stellar association, sometimes also referred to as a <i>moving group</i>.
Юлдузлар	гравитация кучларининг иссиқ модда (газ) нинг босими ҳамда нурланишлар билан мувозанати хисобига барқарор бўлган улкан нурланувчи плазмавий шарлар.	A star is a luminous sphere of plasma held together by its own gravity. The nearest star to Earth is the Sun. Other stars are visible to the naked eye from Earth during the night, appearing as a multitude of fixed luminous points in the sky due to their immense distance from Earth. Historically, the most prominent stars were grouped into constellations and asterisms, the brightest of which gained proper names. Extensive catalogues of stars have been assembled by astronomers, which provide standardized star designations. For at least a portion of its life, a star shines due to thermonuclear fusion of hydrogen into helium in its core, releasing energy that traverses the star's interior and then radiates into outer space.
Ядровий астрофизика	юлдузлар ва бошқа самовий объектларда содир	Nuclear astrophysics is an interdisciplinary branch of physics

	бўлувчи барча ядровий жараёнларни тадқиқ қилувчи фан.	involving close collaboration among researchers in various subfields of nuclear physics and astrophysics , with significant emphasis in areas such as stellar modeling , measurement and theoretical estimation of nuclear reaction rates, cosmology , cosmochemistry , gamma ray , optical and X-ray astronomy , and extending our knowledge about nuclear lifetimes and masses. In general terms, nuclear astrophysics aims to understand the origin of the chemical elements and the energy generation in stars .
Қора ўра	гравитация кучлари жисмни унинг гравитациявий радиусидан кичикроқ ўлчамларгача сиқилиши натижасида юзага келувчи космик объект.	A black hole is a region of spacetime exhibiting such strong gravitational effects that nothing—including particles and electromagnetic radiation such as light—can escape from inside it. The theory of general relativity predicts that a sufficiently compact mass can deform spacetime to form a black hole. The boundary of the region from which no escape is possible is called the event horizon .
Қоронғи модда	Борлиқнинг 23% номаълум моддаси.	Dark matter is a form of matter thought to account for approximately 85% of the matter in the universe and about 23% of its total mass–energy density.
Қоронғи энергия	Борлиқнинг антигравитация хусусиятига эга 73% номаълум энергияси.	Dark energy is an unknown form of energy that affects and accelerates the universe on the largest scales.

V. ADABIYOTLAR RO'YXATI

I. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining asarlari

1. Mirziyoyev Sh.M. Buyuk kelajagimizni mard va olijanob xalqimiz bilan birga quramiz. – T.: “O'zbekiston”, 2017. – 488 b.
2. Mirziyoyev Sh.M. Milliy taraqqiyot yo'limizni qat'iyat bilan davom ettirib, yangi bosqichga ko'taramiz. 1-jild. – T.: “O'zbekiston”, 2017. – 592 b.
3. Mirziyoyev Sh.M. Xalqimizning roziligi bizning faoliyatimizga berilgan eng oliy bahodir. 2-jild. T.: “O'zbekiston”, 2018. – 507 b.
4. Mirziyoyev Sh.M. Niyati ulug' xalqning ishi ham ulug', hayoti yorug' va kelajagi farovon bo'ladi. 3-jild.– T.: “O'zbekiston”, 2019. – 400 b.
5. Mirziyoyev Sh.M. Milliy tiklanishdan – milliy yuksalish sari. 4-jild.– T.: “O'zbekiston”, 2020. – 400 b.
6. Mirziyoyev Sh. Yangi O'zbekiston strategiyasi. T.:”O'zbekiston” nashriyoti, 2021.

II. Normativ-huquqiy hujjatlar

7. O'zbekiston Respublikasining Konstitutsiyasi. – T.: O'zbekiston, 2023.
8. O'zbekiston Respublikasining 2020 yil 23 sentyabrda qabul qilingan “Ta'lim to'g'risida”gi O'RQ-637-sonli Qonuni.
9. O'zbekiston Respublikasining “Korrupsiyaga qarshi kurashish to'g'risida”gi Qonuni.
10. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2015 yil 12 iyun “Oliy ta'lim muassasalarining rahbar va pedagog kadrlarini qayta tayyorlash va malakasini oshirish tizimini yanada takomillashtirish chora-tadbirlari to'g'risida”gi PF-4732-sonli Farmoni.
11. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2017 yil 7 fevral “O'zbekiston Respublikasini yanada rivojlantirish bo'yicha Harakatlar strategiyasi to'g'risida”gi 4947-sonli Farmoni.
12. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2017 yil 20 aprel "Oliy ta'lim tizimini yanada rivojlantirish chora-tadbirlari to'g'risida”gi PQ-2909-sonli Qarori.
13. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2018 yil 5 iyun “Oliy ta'lim muassasalarida ta'lim sifatini oshirish va ularning mamlakatda amalga oshirilayotgan keng qamrovli islohotlarda faol ishtirokini ta'minlash bo'yicha qo'shimcha chora-tadbirlar to'g'risida”gi PQ-3775-sonli Qarori.
14. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2018 yil 21 sentyabr “2019-2021 yillarda O'zbekiston Respublikasini innovasion rivojlantirish strategiyasini tasdiqlash to'g'risida”gi PF-5544-sonli Farmoni.
15. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2019 yil 27 may “O'zbekiston Respublikasida korrupsiyaga qarshi kurashish tizimini yanada takomillashtirish chora-tadbirlari to'g'risida”gi PF-5729-son Farmoni.
16. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2019 yil 27 avgust “Oliy ta'lim muassasalari rahbar va pedagog kadrlarining uzluksiz malakasini oshirish tizimini joriy etish to'g'risida”gi PF-5789-sonli Farmoni.

17. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2019 yil 8 oktyabr “O‘zbekiston Respublikasi oliy ta’lim tizimini 2030 yilgacha rivojlantirish konsepsiyasini tasdiqlash to‘g‘risida”gi PF-5847-sonli Farmoni.

18. O‘zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasining 2019 yil 23 sentyabr “Oliy ta’lim muassasalari rahbar va pedagog kadrlarining malakasini oshirish tizimini yanada takomillashtirish bo‘yicha qo‘shimcha chora-tadbirlar to‘g‘risida”gi 797-sonli Qarori.

19. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 24.12.2021 yildagi PQ-61-son Qarori.

Asosiy adabiyotlar:

1. Schmidt W., Vцlschow M. // Numerical Python in Astronomy and Astrophysics. A Practical Guide to Astrophysical Problem Solving, Springer, 2021. — 257 p. — ISBN 978-3-030-70346-2

2. Schneider P. Extragalactic Astronomy and Cosmology: An Introduction // 2nd ed. - Springer, 2015. - 626 pp.

3. Д.И. Нагирнер // Элементы космологии // С.-Петербург, 2001.

4. С.Хокинг // Теория всего / Москва: АСТ, 2018. — 160 с.: ил.

5. T.Axunov, K.Mirtadjiyeva // Astronomiyada kompyuter usullari (o‘quv qo‘llanma) // T.: “Universitet”, 2024

6. T.Axmadjonov, M. Akramov // Fizik jarayonlarni kompyuterda modellashtirish // T.: “Universitet”, 2024

7. M.Akramov, T.Axmadjanov // Fizik jarayonlarni kompyuterda modellashtirish, o‘ quv qo‘llanma, T., 2024

8. Нагаева И.А., Кузнецов И.А. // Основы математического моделирования и численные методы, учебное пособие, Лань.:, М. 2024, 204 с.

9. Peter Bodenheimer et al., // Numerical Methods in Astrophysics: An Introduction (Series in Astronomy and Astrophysics), CRC Press, 2007. — 330 p. — ISBN: 9780750308830

10. Слабнов В. Д. // Численные методы, учебное пособие, Лань.:, М. 2024, 392 с.

11. A.A. Abdujabbarov, B.J. Ahmedov, Photons Motion and Optical Properties of Black holes, T., 2019, 184 pp.

12. Мизнер Ч., Торн К., Уилер Дж. Гравитация. Том 1. М.: Мир, 1977

13. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теория поля, М. Наука, 1967.

14. Шапиров С. Л., Тюкольский С. А. Черные дыры, белые карлики и нейтронные звезды. В 2 часа М., 1985 г.

15. Вайнберг С. Гравитация и космология. М.: Мир, 1975.

16. Фролов В., Новиков И. Физика черных дыр: основные понятия и новые разработки. Ключевр, 1998 г.

17. Грабовский, Р.И. Курс физики: Учебник / Р.И. Грабовский. — СПб.: Лань, 2012. — 608 с.

18. Колесников, А.А. Гравитация и самоорганизация / А.А. Колесников. — М.: Либроком, 2016. — 116 с.

19. Нагирнер Д.И. Элементы космологии; [без обозначений] – М., 2016. – 274 с. 52.

Elektron ta'lim resurslari:

1. www.edu.uz.
2. www.aci.uz.
3. www.ictcouncil.gov.uz.
4. www.lib.bimm.uz
5. [www. Ziyonet. Uz](http://www.Ziyonet.Uz)
6. www.sciencedirect.com
7. «Astronomy on line» (www.eso.org/outreach/spec-prog/aol/,
www.astrolab.ru/)
8. [http:astronet.ru](http://astronet.ru).
9. [http://ziv.telescopes.ru/rubric/astronomy/ index.html?pub=1](http://ziv.telescopes.ru/rubric/astronomy/index.html?pub=1)
10. <http://grani.ru/Society/Science/m.71591.html>
11. <http://www.msu.ru/>
12. http://zipsites.ru/human/astronom_kurs/
13. <http://cosmo.labrate.ru/>

NAZORAT SAVOLLARI

1. Yoritkichlarning ko'rinma o'rni.
2. Yulduz turkumlari.
3. 88 ta yulduz turkumlari nomi, o'rni.
4. Yulduz, Quyosh, Oy va sayyoralarning ko'rinma harakatlari.
5. Osmon sferasi. Osmon sferasining asosiy nuqtalari, o'qlari, aylanalari.
6. Gorizont va ekvatorial koordinatalar sistemalari.
7. Balandlik va azimut.
8. Yoritkichlarning og'ishi va gorizontdan balandligi.
9. Olam qutbi gorizontdan balandligi geografik kenglamaga bog'liqligi.
10. Osmon sfera sutkalik aylanishiga bog'liq jarayonlar va yoritkichlar koordinatalarining o'zgarishi.
11. Yoritkichlarning chiqishi va botishi.
12. Ekliptika: ekliptik koordinatalar sistemasi.
13. Ekliptik uzunlama va kenglama.
14. Quyosh ekvatorial koordinatalarining o'zgarishi.
15. Quyoshning turli kengliklarda sutkalik harakati.
16. Qutb yog'dulari.
17. Vaqt va uni o'lchash. Yulduz vaqti. Quyosh vaqti: haqiqiy quyosh vaqti va o'rtacha quyosh vaqti.
18. Vaqt tenglamasi.
19. O'rtacha Quyosh vaqti bilan yulduz vaqti orasidagi munosabat.
20. Vaqt o'lchash sistemalari.
21. Mahalliy vaqt. Poyas vaqti. Dekret vaqti. Atom vaqti.
22. Taqvimlar muammolari. Quyosh taqvimi. Oy taqvimi. Quyosh-Oy taqvimi.
23. Kun o'zgarish chizig'i.
24. Sananing boshlanishi.
25. Sferik uchburchak va sferik trigonometriya asoslari.
26. Sferik uchburchakning yuzi.
27. Kosinuslar teoremasi. Sinuslar teoremasi.
28. Besh element formulasi.
29. Parallaktik uchburchak.
30. Koordinatalarni almashtirish formulalari.
31. Refraktsiya. Refraktsiya burchagi.
32. Sutkalik parallaks. Gorizont parallaks. Oy parallaksi. Quyosh parallaksi.
33. Yoritkichlarning chiqish va botish momentlarini hamda azimutlarini hisoblash.
34. Quyosh koordinatalarini aniqlash.
35. Shafaq. Ertalabki va kechki shafaqlar.
36. Astronomik va grajdancha shafaqlar.
37. Oq tunlar.
38. Sayyoralarning ko'rinma va haqiqiy harakati.

39. Sayyoralarning tiplarga ajralishi.
40. Sharq olimlari ishlari: Al Farg'oniy, Chag'moniy, Beruniy, Ulug'bek va boshqalar.
41. Ulug'bek rasadxonasi.
42. Samarqandda astronomiyaning rivojlanishi.
43. Ulug'bek Ziji.
44. Sayyoralarning konfiguratsiyalari.
45. Yuqori va luyi birlashishlar.
46. Sharqiy va g'arbiy elongatsiya.
47. Ro'paro' turishlar.
48. Sharqiy va g'arbiy kvadraturalar.
49. Ptolomeyning olam nazariyasi.
50. Kopernikning olam nazariyasi.
51. Sayyoralarning to'g'ri va teskari harakatlari.
52. Sayyoralarning sinodik va siderik aylanish davrlari.
53. Sinodik va siderik davrlar orasidagi bog'linishlar.
54. Kepler qonunlari: birinchi, ikkinchi va uchunchi qonunlari.
55. Sayyoralarning orbita elementlari: katta yarim o'q, og'ish burchagi, ekstsentrisitetlari va hokozo.
56. Mexanikaning asosiy qonunlari.
57. Butun olam tortishish qonuni.
58. Tortishish kuchi jismlarning massalari va shakllariga bog'liqligi.
59. Tortishish va og'irlik kuchlar tengligi.
60. Er sirtida og'irlik kuchining o'zgarishi.
61. Gravitatsiya tabiati va uning astronomiyadagi roli.
62. Material nuqtaning tortishish kuchi ta'sirida harakatlanishi (ikki jism masalasi).
63. Kepler – Nyuton qonunlari.
64. Keplerning umumlashgan birinchi qonuni.
65. Keplerning ikkinchi qonuni.
66. Keplerning uchunchi (anillangan) qonuni.
67. G'alayonlangan harakat haqida tushuncha.
68. G'alayonlanmagan harkat tushunchasi.
69. G'alayonlantiruvchi kuch haqida tushuncha.
70. Oyning g'alayonlangan harakati.
71. Ko'tarilishlar va pasayishlar.
72. Dengiz suvlarining ko'tarilishi va pasayishi:
73. Quyoshning ta'siri va Oyning ta'siri.
74. Uch va ko'p jism masalasi.
75. Neptunning kashf etilishi.
76. U.Gershel tadqiqoti.

77. Osmon jismlarining massalarini aniqlash.
78. Kosmik apparatlarning harakati.
79. Aylanma, elliptik, parabolik va giperbolik harakat.
80. Birinchi, ikkinchi va uchunchi kosmik tezliklar haqida tushuncha.
81. Amaliy astronomiya masalalari.
82. Vaqt va geografik uzunlamani aniqlash.
83. Soat turlari. Soat tuzatmalari.
84. Geografik kenglama va soat tuzatmasini aniqlash.
85. Aniq vaqtni aniqlash.
86. Geografik uzunlamani aniqlash.
87. Geografik koordinatalarni birgalikda aniqlash.
88. Uzunlama va soat tuzatmani yoritgichlarning kulminatsiyasiga nisbatan aniqlash.
89. Er sathidagi jismning azimutini aniqlash.
90. Fundamental astrometriya masalalari.
91. Absolyut va differentsial usullar.
92. Ekvatorial koordinatalarni aniqlashning absolyut va nisbiy usullari.
93. Yulduzlarning xususiy harakati.
94. Katta Ayiq yulduz turkumi harakati.
95. Fotografik astrometriya.
96. Astronomik kataloglar va yulduz xaritalari.
97. Kataloglarning turlari.
98. Fundamental kataloglar. Mesbe katalogi.
99. Astrometrik asboblari: universal instrument, sekstant, meridian doira, zenit – teleskop va boshqalar.
100. Astrometrik asboblarning xarakteristikalar.
101. Astronomik soatlar va xronometrlar.
102. Astrometriyada yangi usullar.
103. Er radiusini aniqlash. Triangulyatsiya.
104. Uchburchaklar usuli.
105. Erning o'lchami va shakli.
106. Sferoid. Geoid. Ellipsoid.
107. Osmon jismlarigacha masofani aniqlash.
108. Yillik parallaksdan foydalanish.
109. Astronomiyada masofa o'lchov birliklari: parsek, yorug'lik yili, astronomik birlik.
110. Kuzatuvlardan sutkalik va yillik parallakslarni aniqlash.
111. Astronomik birlikni aniqlash.
112. Quyosh parallaksini aniqlash usullari.
113. Yoritkichlarning o'lcham va shakllarini aniqlash.
114. Yoritgichlarning chiziqli o'lchamlari.
115. Quyosh sistemasining tuzilishi.
116. Sayyoralar, mayda jismlar, kometalar, asteroidlar, meteorlar.
117. Erning Quyosh atrofida harakati.

118. Parallaktik ellipsoid.
 119. Aberratsiya. Apeks.
 120. Sutkalik va yillik aberratsiya.
 121. Doimiy aberratsiya.
 122. Erda fasllarning almashinuvi.
 123. Erga yorug'likning tushishi.
 124. Erning o'z o'qi atrofida aylanishi.
 125. Fuko mayatnigi.
 126. Tushayotgan jismning sharl tomonga og'ishi.
 127. Er o'qining pretssession va nutatsion harakatlari.
 128. Pretsessiya va nutatsiya davrlari.
 129. Er sirtida qutblarning siljishi.
 130. Er aylanishining notekisliklari.
 131. Efemerid va atom valtlari.
 132. Oy orbitasi va uning chetlashishlari.
 133. Siderik va yulduz oylari.
 134. Oyning ko'rinma harakati va fazalari.
 135. Yangi oy, birinchi chorak, to'lin oy, oxirgi chorak.
 136. Oyning aylanishi va libratsiyasi.
 137. Uzunlik bo'yicha libratsiya.
 138. Kenglik bo'yicha libratsiya.
 139. Sutkalik va parallaktik libratsiya. Fizik libratsiya.
 140. Yoritkichlarning Oy bilan to'silishi.
 141. Quyosh tutilishi. Qisman Quyosh tutilishi. To'liq Quyosh tutilishi.
 142. Oy tutilishi. Tutilishlar sodir etilishi shartlari. Qisman Oy tutilishi.
- To'liq Oy tutilishi.
143. Quyosh va oy tutilishlari shartlari.
 144. Saros.
 145. Yil davomidagi tutilishlarning umumiy soni.
 146. Astrofizikaning masalalari va asosiy bo'limlari.
 147. Nurlanishning elektromagnit spektri.
 148. Astrofotometriya.
 149. Nurlanish xossalari va spektral tahlil asoslari.
 150. Dopler effekti.
 151. Yulduzlar temperaturasini aniqlash usullari.
 152. Teleskoplar.
 153. Ko'z – nurlanish qabul qilg'ichi sifatida.
 154. Nurlanishning fotoelektrik qabul qilgichlar.
 155. Spektral asboblari.
 156. Quyosh haqida umumiy tushuncha.
 157. Quyoshning spektri va kimeviy tarkibi.
 158. Quyosh doimiysi va uni aniqlash.
 159. Quyosh tashqi qatlamlari.
 160. Quyoshning ichki tuzilishi.

161. Quyosh atmosferasi.
162. Tinch Quyoshning radionurlanishi.
163. Quyosh atmosferasida faol tuzilmalar.
164. Quyosh aktivligi sikli.
165. Sayyoralarning ichki tuzilishi.
166. Sayyoralarning atmosferalari.
167. Sayyoralar va Quyosh shamoli.
168. Merkuriy. Venera. Yer. Oy. Mars.
169. Gigant sayyoralar.
170. Gigant sayyoralarning yo'ldoshlari va xalqalari.
171. Kichik sayyoralar. Kometalar.
172. Normal yulduzlar.
173. Yulduzlarning spektrlari va spektral sinflari.
174. Kolorimetriya. Spektr – yorqinlik diagrammasi.
175. Yulduzlarning o'lchamlarini aniqlash usullari.
176. Radius – yorqinlik – massa munosabati.
177. Yulduzlarning ichki tabiati va tuzilishi.
178. Yulduzlarning atmosferalari.
179. Planetar tumanliklar.
180. Qo'shaloq sistemalar.
181. Vizual qo'shaloq yulduzlar.
182. To'siluvchan o'zgaruvchan yulduzlar.
183. Spektral qo'shaloq yulduzlar.
184. Eruptiv o'zgaruvchanlar. Pul'sarlar – neytron yulduzlar.
185. Qora o'ralar.
186. Galaktika tashkil etuvchilari.
187. Galaktikada yulduzlar taqsimoti.
188. Yulduzlarning fazoviy tezliklari va Quyosh sistemasi harakati.
189. Galaktikaning aylanishi.
190. Yulduzlararo chang va gaz.
191. Galaktika toji va magnit maydoni.
192. Galaktikalar turlari va ularning tuzilishi.
193. Galaktikalargacha masofani aniqlash.
194. Galaktikalar tarkibi va fizik xossalari.
195. O'zagi faol galaktikalar.
196. Kvazarlar.
197. Gravitatsion linzalar.
198. Kosmogonik muammolar.
199. Yulduzlarning kelib chiqishi va evolyutsiyasi.
200. Galaktikalarning kelib chiqishi va evolyutsiyasi.
201. Sayyoralarning kelib chiqishi.
202. Quyosh sistemasining kelib chiqishi va boshlang'ich evolyutsiyasi.
203. Kosmologik printsip.
204. Koinotning bir jinsli izotrop modeli.

205. Katta portlash.

206. Koinotning issiq modeli.

T. Padmanabhan, *Theoretical Astrophysics, Volume II*, Cambridge University Press, 2010.