

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

**KOINOT STRUKTURASI VA
EVOLYUSIYASI, MATERIYANING
YANGI FORMALARI**

2022

**Axmedov B.J. fizika-matematika fanlari
doktori, professor**



**O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIV VA O‘RTA MAXSUS TA‘LIM VAZIRLIGI**

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

**“KOINOT STRUKTURASI VA EVOLYUSIYASI,
MATERIYANING YANGI FORMALARI”**

MODULI BO‘YICHA

O‘QUV-USLUBIY MAJMUA

Fizika

Buxoro-2022

Modulning o'quv-uslubiy majmuasi Oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligining 2020 yil 7 dekabrda 648-sonli buyrug'i bilan tasdiqlangan o'quv dasturi va o'quv rejasiga muvofiq ishlab chiqilgan.

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

Taqrizchilar: K.Olimov fizika-matematika fanlari doktori, professor.

F.J.Fattoyev fizika-matematika fanlari bo'yicha falsafa doktori, professor.

O'quv -uslubiy majmua Buxoro davlat universiteti Ilmiy Kengashining qarori bilan nashrga tavsiya qilingan (2021 yil "30" dekabdagi 5-sonli bayonnoma)

MUNDARIJA

I. IShChI DASTUR	5
II. MODULNI O‘QITISHDA FOYDALANILADIGAN INTERFAOL TA‘LIM METODLARI	13
III. NAZARIY MATERIALLAR	17
IV. AMALIY MASHG‘ULOT MATERIALLARI	115
V. GLOSSARIY	130
VI. ADABIYOTLAR RO‘YXATI	137

I. IShChI DASTUR

Kirish

Dastur O‘zbekiston Respublikasining 2021 yil 23 sentabrda tasdiqlangan “Ta’lim to‘g‘risida”gi Qonuni, O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2017 yil 7 fevraldagi “O‘zbekiston Respublikasini yanada rivojlantirish bo‘yicha Harakatlar strategiyasi to‘g‘risida”gi PF-4947-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-sonli Farmonlari hamda 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-sonli Qarorlarida 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 malakalarni 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 kredit modul tizimi va o‘quv jarayonini tashkil etish, ilmiy va innovatsion faoliyatni rivojlantirish, pedagogning kasbiy professionalligini oshirish, ta’lim jarayoniga raqamli texnologiyalarni joriy etish, maxsus maqsadlarga yo‘naltirilgan ingliz tili, mutaxassislik fanlar negizida ilmiy va amaliy tadqiqotlar, o‘quv jarayonini tashkil etishning zamonaviy uslublari bo‘yicha so‘nggi yutuqlar, pedagogning kreativ kompetentligini rivojlantirish, ta’lim jarayonlarini raqamli texnologiyalar asosida individuallashtirish, masofaviy ta’lim xizmatlarini rivojlantirish, vebinar, onlayn, «blended learning», «flipped classroom» texnologiyalarini amaliyotga keng

qo'llash bo'yicha tegishli bilim, ko'nikma, malaka va kompetensiyalarni rivojlantirishga yo'naltirilgan.

Qayta tayyorlash va malaka oshirish yo'nalishining o'ziga xos xususiyatlari hamda dolzarb masalalaridan kelib chiqqan holda dasturda tinglovchilarning mutaxassislik fanlar doirasidagi bilim, ko'nikma, malaka hamda kompetensiyalariga qo'yiladigan talablar takomillashtirilishi mumkin.

Modulning maqsadi va vazifalari

Modulning maqsadi: pedagog kadrlarni qayta tayyorlash va malakasini oshirish kursi tinglovchilarini zamonaviy kosmologiya, uning modellari, kosmologik kuzatuvlari va ularning imkoniyatlari, koinot to'g'risidagi ma'lumotlar, ularning tamoyillari va imkoniyatlari, olamning rivojlanishidagi hal qiluvchi bosqichlar, elementar zarralar shakllanishi va barion moddaning ustunligi asimmetriyasi haqida oliy ta'lim muassasalari pedagog kadrlarining bilim, ko'nikma va kompetensiyalarini oshirish.

Modulning vazifalari:

- Koinot strukturasi va evolyusiyasi, materiyaning yangi formalari - qorong'i materiya va qorong'i energiya sohasidagi so'nggi yangiliklar, zamonaviy eksperimental va kuzatuv texnologiyalar va xorijiy adabiyotlar haqidagi bilimlarini takomillashtirish, bu boradagi muammolarni aniqlash, tahlil etish va baholash.

- Zamonaviy relyativistik kosmologiya va astrofizika soxalarida ilg'or tajribalarni o'rganish va amaliyotda qo'llash usullari haqida nazariy va amaliy bilimlarni, ko'nikma va malakalarni shakllantirishdan iborat.

Modul bo'yicha tinglovchilarning bilimi, ko'nikmasi, malakasi va kompetensiyalariga qo'yiladigan talablar

Modulni o'zlashtirish jarayonida amalga oshiriladigan masalalar doirasida:

Tinglovchi:

- relyativistik kosmologiyadagi zamonaviy revolyusion yangiliklar va zamonaviy adabiyotlar, so'nggi yillardagi kosmologiyadagi aniqlangan fundamental qonuniyatlar, kosmologiyadagi kashfiyotlar va tamoyillar, hozirgi

zamon eksperiment va astronomik kuzatuvlardan koinotning yirik masshtabdagi strukturasi o'rganishda samarali foydalanish to'g'risidagi **bilishi** kerak.

- katta portlash va kosmologik inflyatsiya nazariyasining asosiy tushunchalari farqlay olish; astrofizika nuqtai-nazaridan yadro reaksiyalar klassifikatsiyasini farqlash; olamning tezlanish bilan kengayishi, qorong'i materiya va qorong'i energiya, astrofizikadagi kompakt ob'ektlar va gravitatsion to'liqlarini tahlil etish **ko'nikmalariga** ega bo'lishi lozim.

- relyativistik kosmologiya modulini strukturalashtirish, Olam evolyusiyasi, koinotning strukturasi, tarkibi, materiyaning va energiyaning yangi formalari, zamonaviy kosmologik modellar, koinotda ximik elementlarning paydo bo'lishi va tarqalishi. Materiya taqsimoti haqida ma'lumotlar, mikroto'liqlik fon, Xabbl doimiysi, Olamning yoshi. O'ta yangi yulduzlarning chaqnashi va ularning tiplari. Ia tipidagi o'tayangi yulduz va standart yoritgichlar tahlil etish **malakalariga** ega bo'lishi lozim.

- asosiy kosmologik modellar. Yulduzlardagi yadro reaksiyalar. Koinotning katta portlash natijasida yaratilishi, inflyatsiya jarayoni. Fundamental o'zaro ta'sirlar. Kvarq-glyuon plazmasi, yadrolar, mezonlar va leptonlar fizikasini tushunish va qo'llash **kompetensiyalariga** ega bo'lishi lozim.

Modulni tashkil etish va o'tkazish bo'yicha tavsiyalar

Modulni o'qitish ma'ruza. amaliy va ko'chma mashg'ulotlar shaklida olib boriladi.

Modulni o'qitish jarayonida ta'limning zamonaviy metodlari, pedagogik texnologiyalar va axborot-kommunikatsiya texnologiyalari qo'llanilishi nazarda tutilgan:

- ma'ruza darslarida zamonaviy kompyuter texnologiyalari yordamida prezentatsion va elektron-didaktik texnologiyalardan;

- o'tkaziladigan amaliy mashg'ulotlarda texnik vositalardan, ekspress-so'rovlar, test so'rovlari, aqliy hujum, guruhli fikrlash, kichik guruhlar bilan ishlash, kollokvium o'tkazish, va boshqa interaktiv ta'lim usullarini qo'llash nazarda tutiladi.

-ko'chma mashg'ulotlarda zamonaviy ilmiy tajriba qurilmalari va kuzatuv asboblari bilan bevosita tanishish nazarda tutiladi.

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

“Koinot strukturasi va evolyusiyasi, materiyaning yangi formalari” moduli mazmuni o'quv rejadagi “Kredit modul tizimi va o'quv jarayonini tashkil etish”, “Ilmiy va innovatsion faoliyatni rivojlantirish”, “Pedagogning kasbiy professionalligini oshirish”, “Ta'lim jarayoniga raqamli texnologiyalarni joriy etish”, “Nanofizika asoslari” va “Kvant aloqa. Fizik jarayonlarni kompyuterda modellashtirish” o'quv modullari bilan uzviy bog'langan holda pedagoglarning ta'lim jarayonida nanofizika, nanomateriallar, nanozarralarni xosil qilish va ularni kuzatish vositalari bo'yicha kasbiy pedagogik tayyorgarlik darajasini oshirishga xizmat qiladi.

Modulning oliy ta'limdagi o'rni

Modulni o'zlashtirish orqali tinglovchilarning ta'lim jarayonini tashkil etishda texnologik yondashuv asoslarini va bu boradagi ilg'or tajribani o'rganadilar, ularni tahlil etish, amalda qo'llash va baholashga doir kasbiy kompetentlikka ega bo'ladilar.

Moduli bo'yicha soatlar taqsimoti

№	Modul mavzulari	Auditoriya			
		Jami	jumladan		
			Nazariy	Amaliy	Ko'chma
1.	Koinot to'g'risidagi tasavvurlar paydo bo'lishi va rivojlanishi.	2	2		
2.	Katta portlash va inflyatsiya.	2		2	
3.	Qorong'i materiya va qorong'i energiya.	4	2	2	
4.	Ekzoplanetalar va zamonaviy kuzatuvlar.	4			4
5.	Nukleosintez va elementlarning tarqalishi.	2	2		

6.	Yulduzlar evolyusiyasi.	4	2	2	
7.	Koinotning yirik masshtabdagi strukturasi.	2	2		
8.	Gravitatsion to'liqlar.	4	2	2	
9.	O'ta massiv qora o'ralar	2	2		
	Jami: 26 soat	26	14	8	4

NAZARIY MASHG'ULOTLAR MAZMUNI

1-mavzu: Koinot to'g'risidagi tasavvurlar paydo bo'lishi va rivojlanishi (2 soat).

- 1.1. Koinot to'g'risidagi: asosiy tushunchalar.
- 1.2. Koinot to'g'risidagi tasavvurlar paydo bo'lishi.
- 1.3. Koinot to'g'risidagi tasavvurlar rivojlanishi.
- 1.4. Zamonaviy kosmologiya haqida qisqacha ma'lumot.

2-mavzu: Qorong'i materiya va qorong'i energiya (2 soat).

- 2.1. Zamonaviy relyativistik kosmologiyada materiyaning yangi formalari.
- 2.2. Qorong'i materiya.
- 2.3. Qorong'i energiya.
- 2.4. Xozirgi etapda koinotning tezlanish bilan kengayishi.

3-Mavzu: Nukleosintez va elementlarning tarqalishi (2 soat).

- 3.1. Birlamchi yadroviy reaksiyalar hamda dastlabki nukleosintez.
- 3.2. Koinotda yengil elementlarining tarqalishi.
- 3.3. Og'ir elementlarning tashkil topishi va tarqalishi.
- 3.4. O'ta yangi yulduzlar va turlari.
- 3.5. Yadroviy geoxronologiya.

4-Mavzu: Yulduzlar evolyusiyasi (2 soat).

- 4.1. Yulduzlar evolyusiyasi: asosiy tushunchalar.
- 4.2. Gravitatsion kollaps.

- 4.3. Chandrasekar chegarasi.
- 4.4. Neytron yulduzlar. Kvazarlar.

5-Mavzu: Koinotning yirik masshtabdagi strukturasi (2 soat).

- 5.1. Zamonaviy kosmologiya: asosiy tushunchalar.
- 5.2. Zamonaviy kosmologiyadagi muammoalar.
- 5.3. Koinotning yirik masshtabdagi strukturasi.
- 5.4. Koinotdagi galaktikalar filamen orqali taqsimlanishi.

6-Mavzu: Gravitatsion to'liqlar (2 soat).

- 6.1. Astronomiyada gravitatsion to'liqlar.
- 6.2. Gravitatsion to'liqlar manbalari.
- 6.3. Qora o'ralar va neytron yulduzlarning to'qnashuvi natijasida hosil bo'lgan gravitatsion to'liqlar.
- 6.4. Gravitatsion to'liqlarni qayd qilish.

7-Mavzu: O'ta massiv qora o'ralar (2 soat).

- 7.1. Galaktika markazidagi o'ta massiv qora o'ralar.
- 7.2. Aylanuvchi qora o'ralar atrofida optik jarayonlar.
- 7.3. Aylanuvchi qora o'ralar atrofida energetik jarayonlar.

AMALIY MASHG'ULOTLAR MAZMUNI

1-amaliy mashg'ulot. Katta portlash va inflyatsiya.

Katta portlash va inflyatsiya. Olamning rivojlanishidagi hal qiluvchi bosqichlar, elementar zarralar shakllanishi va barion moddaning ustunligi asimmetriyasi. (2 soat).

2-amaliy mashg'ulot. Qorong'i materiya va qorong'i energiya. (2 soat).

3-amaliy mashg'ulot. Yulduzlar evolyusiyasi.

Koinotdagi birlamchi yulduzlar va gallaktikalarning paydo bo'lishi va evolyusiyasi. (2 soat).

4-amaliy mashg'ulot. Gravitatsion to'lqinlar. (2 soat).

Amaliy mashg'ulotlarni tashkil etish bo'yicha ko'rsatma va tavsiyalar

Amaliy mashg'ulotlarda tinglovchilar o'quv modullari doirasidagi ijodiy topshiriqlar, keyslar, o'quv loyihalari, texnologik jarayonlar bilan bog'liq vaziyatli masalalar asosida amaliy ishlarni bajaradilar.

Amaliy mashg'ulotlar zamonaviy ta'lim uslublari va innovatsion texnologiyalarga asoslangan holda o'tkaziladi. Bundan tashqari, mustaqil holda o'quv va ilmiy adabiyotlardan, elektron resurslardan, tarqatma materiallardan foydalanish tavsiya etiladi.

KO'ChMA MASHG'ULOT MAZMUNI

Ko'chma mashg'ulot. Ekzoplanetalar va zamonaviy kuzatuvlar.

Planeta tizimlarining shakllanishi va zamonaviy astronomik kuzatuvlarda ekzoplanetalar qayd etilishi. (4 soat).

O'zbekiston Respublikasi Fanlar Akademiyasi Astronomiya institutida mavzu bo'yicha maxsus dasturlar va uning asboblari bilan tanishish va ko'rish.

O'QITISH SHAKLLARI

Mazkur modul bo'yicha quyidagi o'qitish shakllaridan foydalaniladi:

- ma'ruzalar, amaliy mashg'ulotlar (ma'lumotlar va texnologiyalarni anglab olish, aqliy qiziqishni rivojlantirish, nazariy bilimlarni mustahkamlash);
- davra suhbatlari (ko'rilayotgan loyiha yechimlari bo'yicha taklif berish qobiliyatini oshirish, eshitish, idrok qilish va mantiqiy xulosalar chiqarish);

- bahs va munozaralar (loyihalar yechimi bo'yicha dalillar va asosli argumentlarni taqdim qilish, eshitish va muammolar yechimini topish qobiliyatini rivojlantirish).

II. MODULNI O‘QITISHDA FOYDALANILADIGAN INTERFAOL

TA’LIM METODLARI

“SWOT-tahlil” metodi.

Metodning maqsadi: mavjud nazariy bilimlar va amaliy tajribalarni tahlil qilish, taqqoslash orqali muammoni hal etish yo‘llarni topishga, bilimlarni mustahkamlash, takrorlash, baholashga, mustaqil, tanqidiy fikrlashni, nostandart tafakkurni shakllantirishga xizmat qiladi.

S – (strength)	• kuchli tomonlari
W – (weakness)	• zaif, kuchsiz tomonlari
O – (opportunity)	• imkoniyatlari
T – (threat)	• to‘siqlar

Namuna: Koinotni katta portlash natijasida yaratilishi, inflyatsiya jarayoni.

Fundamental o‘zaro ta’sirlar SWOT tahlilini ushbu jadvalga tushiring.

S	Koinotni katta portlash natijasida yaratilishi, inflyatsiya jarayoni. Fundamental o‘zaro ta’sirlardan foydalanishning kuchli tomonlari	Ushbu nazariya yordamida koinotning rivojlanishini 4 ta fundamental o‘zaro ta’sir kuchlari yordamida tushuntiriladi.
W	Koinotni katta portlash natijasida yaratilishi, inflyatsiya jarayoni. Fundamental o‘zaro ta’sirlar foydalanishning kuchsiz tomonlari	Xozirigi paytda eksperimentda tekshirish imkoniyati yo‘q.

O	Koinotni katta portlash natijasida yaratilishi, inflyatsiya jarayoni. Fundamental o‘zaro ta’sirlardan foydalanishning imkoniyatlari (ichki)	Fizikaning qonunlarini o‘zaro bog‘liqligini ko‘rsatadi.
T	To‘siqlar (tashqi)	Nazariyaning matematik apparati murakkab.

“Assesment” metodi

Metodning maqsadi: mazkur metod ta’lim oluvchilarning bilim darajasini baholash, nazorat qilish, o‘zlashtirish ko‘rsatkichi va amaliy ko‘nikmalarini tekshirishga yo‘naltirilgan. Mazkur texnika orqali ta’lim oluvchilarning bilish faoliyati turli yo‘nalishlar (test, amaliy ko‘nikmalar, muammoli vaziyatlar mashqi, qiyosiy tahlil, simptomlarni aniqlash) bo‘yicha tashhis qilinadi va baholanadi.

Metodni amalga oshirish tartibi:

“Assesment” lardan ma’ruza mashg‘ulotlarida talabalarning yoki qatnashchilarning mavjud bilim darajasini o‘rganishda, yangi ma’lumotlarni bayon qilishda, seminar, amaliy mashg‘ulotlarda esa mavzu yoki ma’lumotlarni o‘zlashtirish darajasini baholash, shuningdek, o‘z-o‘zini baholash maqsadida individual shaklda foydalanish tavsiya etiladi. Shuningdek, o‘qituvchining ijodiy yondashuvi hamda o‘quv maqsadlaridan kelib chiqib, assesmentga qo‘shimcha topshiriqlarni kiritish mumkin.

Namuna. Har bir katakdagi to‘g‘ri javob 5 ball yoki 1-5 balgacha baholanishi mumkin.



Тест

Кучсиз ўзаро таъсирни ташувчи зарраларни кўрсатинг.

- А. W-бозон
- В. ФОТОН
- С. ГЛЮОН



Қиёсий таҳлил

Фундаментал ўзаро таъсир кучларини таққосланг



Тушунча таҳлили

- W -бозон тушунчасини
ИЗОҲЛАНГ...



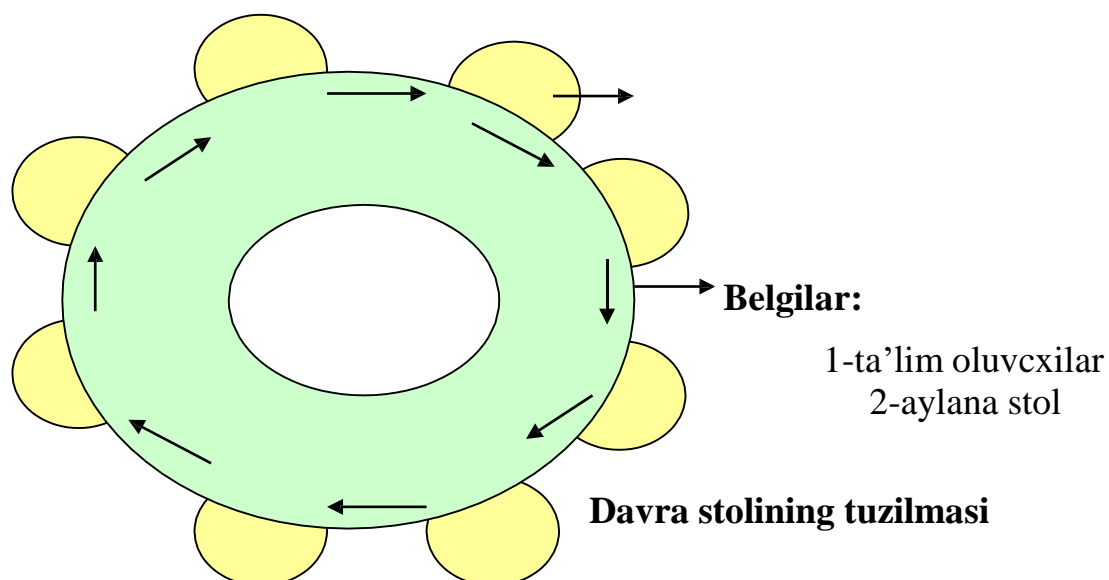
Амалий кўникма

- Заррачанинг
энергиясини хисобланг

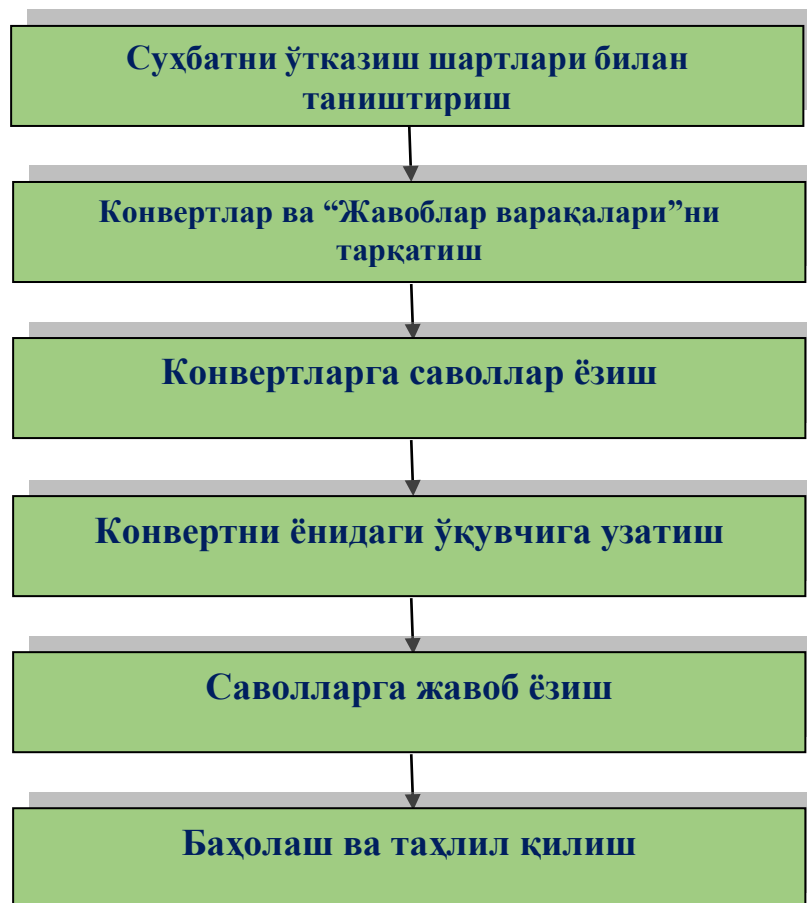
“Davra suhbatı” metodi

Aylana stol atrofida berilgan muammo yoki savollar yuzasidan ta’lim oluvchilartomonidan o‘z fikr-mulohazalarini bildirish orqali olib boriladigan o‘qitish metodidir.

“Davra suhbatı” metodi qo‘llanilganda stol-stullarni doira shaklida joylashtirish kerak. Bu har bir ta’lim oluvchining bir-biri bilan “ko‘z aloqasi”ni o‘rnatib turishiga yordam beradi. Davra suhbatining og‘zaki va yozma shakllari mavjuddir. Og‘zaki davra suhbatidata’lim beruvchi mavzuni boshlab beradi va ta’lim oluvchilardan ushbu savol bo‘yicha o‘z fikr- mulohazalarini bildirishlarini so‘raydi vaaylana bo‘ylab har birta’lim oluvchi o‘z fikr-mulohazalarini og‘zaki bayon etadilar. So‘zlayotgan ta’lim oluvchini barcha diqqat bilan tinglaydi, agar muhokama qilish lozim bo‘lsa, barcha fikr-mulohazalar tinglanib bo‘lingandan so‘ngmuhokama qilinadi. Bu esa ta’lim oluvchilarning mustaqil fikrlashiga va nutq madaniyatining rivojlanishiga yordam beradi.



Yozma davra suhbatida stol-stullar aylana shaklida joylashtirilib, har bir ta'lim oluvchiga konvert qog'ozini beriladi. Har bir ta'lim oluvchi konvert ustiga ma'lum bir mavzu bo'yicha o'z savolini beradi va "Javob varaqasi"ning biriga o'z javobini yozib, konvert ichiga solib qo'yadi. Shundan so'ng konvertni soat yo'nalishi bo'yicha yonidagi ta'lim oluvchiga uzatadi. Konvertni olgan ta'lim oluvchi o'z javobini "Javoblar varaqasi"ning biriga yozib, konvert ichiga solib qo'yadi va yonidagi ta'lim oluvchiga uzatadi. Barcha konvertlar aylana bo'ylab harakatlanadi. Yakuniy qismda barcha konvertlar yig'ib olinib, tahlil qilinadi. Quyida "Davra suhbatini" metodining tuzilmasi keltirilgan.



"Davra suhbatini" metodining afzalliklari:

- o'tilgan materialining yaxshi esda qolishiga yordam beradi;
- barcha ta'lim oluvchilar ishtirok etadilar;
- har bir ta'lim oluvchi o'zining baholanishi mas'uliyatini his etadi;
- o'z fikrini erkin ifoda etish uchun imkoniyat yaratiladi.

III. NAZARIY MATERIALLAR

1-MAVZU: KOINOT TO‘G‘RISIDAGI TASAVVURLAR PAYDO BO‘LISHI VA RIVOJLANISHI (2 soat).

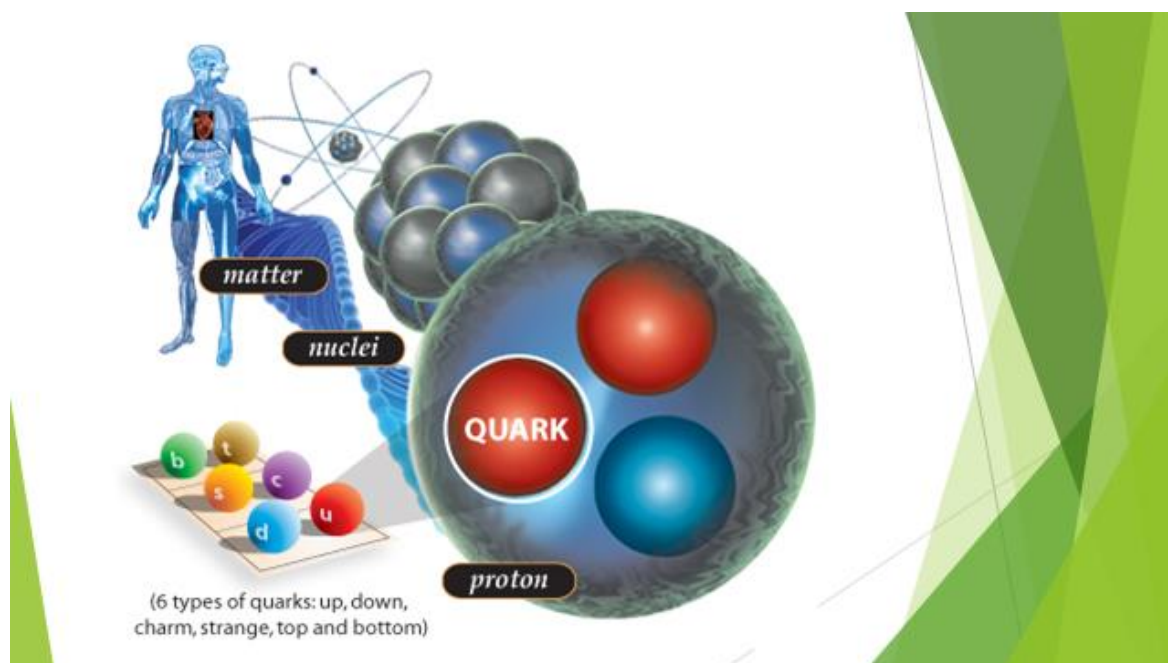
REJA

- 1.1. *Koinot to‘g‘risidagi asosiy tushunchalar.*
- 1.2. *Koinot to‘g‘risidagi tasavvurlar paydo bo‘lishi.*
- 1.3. *Koinot to‘g‘risidagi tasavvurlar rivojlanishi.*
- 1.4. *Zamonaviy kosmologiya haqida qisqacha ma‘lumot.*

Tayanch iboralar: Relyativistik kosmologiya, koinot va uning rivojlanishi, Fundamental zarralar, kuchli magnit va gravitatsion maydonlar.

1.1. Koinot to‘g‘risidagi asosiy tushunchalar.

Insonni doimo ikki savol qiziqtirib kelgan: 1) moddalar va odamning o‘zi qanday elementar zarrachalardan tashkil topgani va 2) Koinotning tuzilishi va evolyusiyasi. O‘zining bilimini kengaytirish doirasida inson ikkita qarama-qarshi yo‘nalishlarda fikr yuritgan: 1) quyi yo‘nalishda xarakatlanib (molekula – atom – yadro – protonlar, neytronlar - kvarklar) inson kichik masofalardagi jarayonlarni tushunishga xarakat qildi; 2) yuqori yo‘nalishda xarakatlanib (planeta – quyosh sistemasi – galaktika), koinotning umumiy tuzilishi va tarkibi xaqida tasavvurlarga ega bo‘ldi.



1- Rasm. Insoniyat quyi yo'nalishda xarakatlanib (molekula – atom – yadro – protonlar, neytronlar - kvarklar) inson kichik masofalardagi jarayonlarni tushunishga xarakat qildi

Tadqiqotlar natijasida shu narsa ma'lum bo'ldiki, Koinotning o'zi bundan 13 mlrd. yil avval «Katta portlash» natijasida paydo bo'lgan va dastlabki davrda mikroskopik o'lchamlarga ega bo'lgan. Shu nuqtai nazarda elementar zarralar xaqidagi hozirgi zamon tajriba qurilmalari yordamida olingan ma'lumotlar Koinot rivojlanishining dastlabki etapidagi fizik jarayonlarni tushunishga yordam beradi¹. Xususan, tezlatgichlardagi to'qnashuvchi zarrachalarning energiyasi qanchali katta bo'lsa, materiyaning tadqiq etilayotgan qismining o'lchamlari shuncha kichik bo'ladi, shuningdek Koinotning evolyusiyasining ko'rilayotgan davri shunchalik oldinroq bo'ladi. Shunday qilib, mikro- va makro-olamlarning uyg'unlashuvi sodir bo'ldi.

¹A.R. Choudhuri, *Astrophysics for Physics*, Cambridge University, 2010, 471 p.

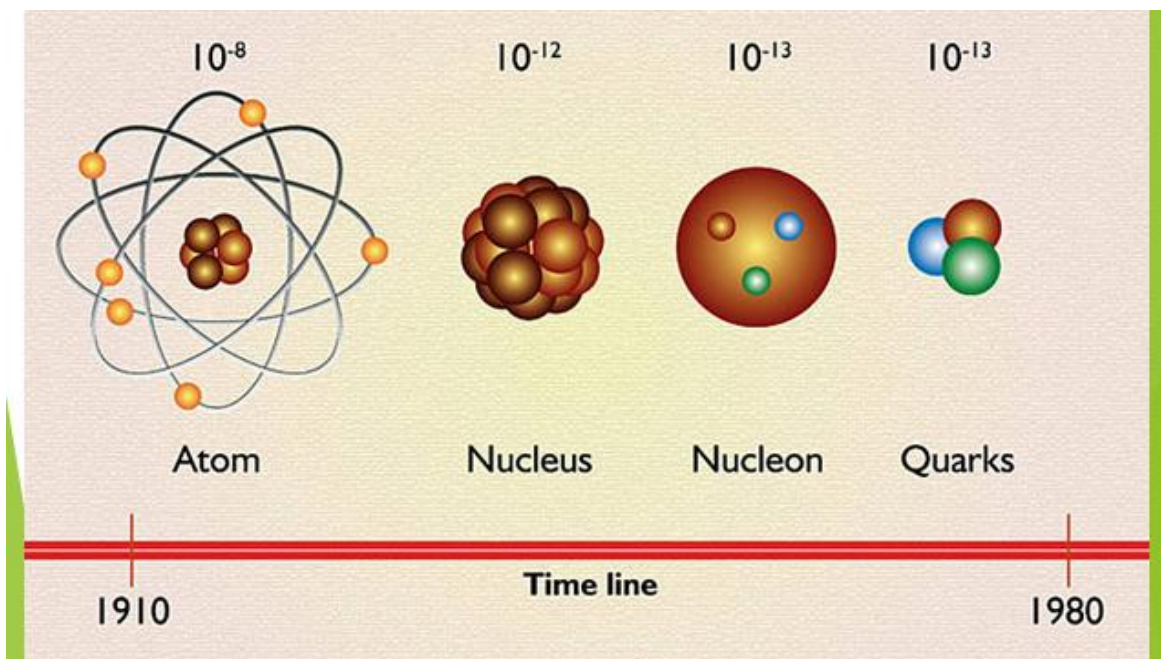


- 2- *Rasm. Insoniyat tafakkurda yuqori yoʻnalishda xarakatlanib (planeta – quyosh sistemasi – galaktika), koinotning umumiy tuzilishi va tarkibi xaqida tasavvurlarga ega boʻldi.*

Bundan 50 yil avval barcha moddalar atomlardan, ular esa oʻz navbatida 3 ta fundamental zarralardan tashkil topganligi maʼlum boʻldi (musbat zaryadlangan protonlar va elektr jixatdan neytral boʻlgan neytronlar – markaziy yadroni tashkil etadi, manfiy zaryadlangan elektronlar yadro atrofida orbitalar boʻylab harakatlanadi).

Soʻnggi paytlarda proton va neytronlar ham oʻz navbatida fundamental obʻektlar – kvarklardan tashkil topganligi maʼlum boʻldi. Oltita kvarklar, oltita leptonlar (elektron, myuon, tau va uchta mos neytrinolar) va toʻrtta oʻtish vektor bozonlar bilan birgalikda Koinotdagi moddalarning asosini tashkil etadi².

²Povh, K.Rith, C.Scholz, F. Zetsche, *Particles and nuclei. An introduction to the physical concepts.* Springer, 2006.



3-rasm. Tabiatdagi elementar zarralar.

Yuqori energiyalar fizikasi va astrofizika ushbu moddalarni tashkil etuvchi fundamental ob’etlarning xossalarini va xususiyatlarini o‘rganadi. Ularning xususiyatlari to‘rtta ma’lum fundamental o‘zaro ta’sir kuchlari – gravitatsion, kuchli yadro, elektromagnit va kuchsiz yadro – yordamida tavsiflanadi. Shuni ta’kidlashki lozimki, xozirgi zamon tasavvurlariga ko‘ra kuchsiz yadro va elektromagnit o‘zaro ta’sirlar bitta ta’sirning ikki hil namoyonlanishidir. Yaqin kelajakda ushbu ta’sir kuchli yadro ta’siri bilan birgalikda “Katta birlashgan nazariya”ni tashkil qilishi va ular gravitatsion o‘zaro ta’sir bilan birgalikda “Yagona o‘zaro ta’sir nazariyasi”ga birlashishi fiziklar tomonidan kutilmoqda³.

Fundamental zarralarni va ularning o‘zaro ta’sirini tadqiqot qilish uchun gigant tezlatgichlarni (elementar zarrachalarni yorug‘lik tezligiga yaqin tezliklargaacha tezlatish va ularni bir-biri bilan to‘qnashish imkonini beruvchi qurilmalar) qurish zarur. Ushbu qurilmalar ulkan o‘lchamlarga ega bo‘lganligi tufayli (bir necha o‘n kilometrlar), ular yer osti tunnellarida joylashtiriladi. Eng quvvatli tezlatgichlar quyidagilardir: CERN (Jeneva, Shveysariya), Fermilab (Chikago, SShA), DESY (Gamburg, Germaniya), SLAC (Kaliforniya, SShA).

³T. Padmanabhan, Theoretical Astrophysics, Volume I, Cambridge University Press, 2010.

Xozirgi paytda Jenevadagi Yevropa yadro tadqiqotlar markazida (CERN) Katta adron kollayderida tadqiqotlar olib borilmoqda va quyidagi bir qator natijalar olingan.

- Xiggs bozoni qayd etilgan va uning massasi $125,09 \pm 0,21$ GeV ga teng

- 8 TeV energiyada proton to'qnashuvlarining asosiy statistik xarakteristikalari o'rganilgan – paydo bo'lgan adronlarning soni, ularning tezliklari bo'yicha taqsimoti, mezonlarning boze-eynshteyn korrelyatsiyalari va x.k.

- proton va antiprotonlar orasida asimmetriyaning mavjud emasligi ko'rsatilgan.

Ushbu tadqiqotlar natijasida moddaning xosil bo'lgan xolati “Katta portlash”dan 10 mikrosekunddan keyin paydo bo'lgani aniqlandi⁴.

Yuqori energiyalar fizikasi va astrofizika fanni insoniyatga faqatgina olam tuzilishi xaqida tasavvurlarnigini emas, balki zamonaviy texnologiyalarni rivojlantirish va amaliyotga qo'llash imkoniyatini xam beradi. Yuqori energiyalar bo'yicha tajribalarni qo'yilishi va ishlatishda odatda yuzlab olimlar, elektronika, materialshunoslik va informatsion texnologiyalar bo'yicha mutaxassislar jalb etiladi.

Xozirgi zamon astrofizikasining asosiy muammolari bu Yerdagi laboratoriyalarda yaratib bo'lmaydigan sharoitlardagi: o'ta yuqori energiyalar, yuqori zichliklar, yuqori temperaturalar, kuchli magnit va gravitatsion maydonlar mavjud ekstremal xolatlarda moddaning xossalarini o'rganishdan iboratdir⁵.

Koinotdagi fizik jarayonlarni o'rganish astrofizikaning asosiy predmeti hisoblanadi. Oy, planetalar va Quyosh sistemasining kichik jismlarini bevosita kosmonavtika uslublari orqali tadqiq etishlarni xisobga olmasak, kosmik ob'ektlar xaqida ma'lumotlar asosan elektromagnit nurlanishlar orqali yetib keladi. Shuning uchun astrofizikaning asosiy masalasi bu kosmik ob'ektlardan keluvchi elektromagnit nurlarning intensivlik, spektr, polyarizatsiya va x.k. kuzatuv xarakteristikalari bilan bog'liqligini modellashtirishdan iboratdir.

⁴ L. Rezzolla, O. Zanotti, *Relativistic Hydrodynamics*, Oxford University Press, 2013, 752 p.

⁵ Фильченков М.Л., *Гравитация, астрофизика, космология: дополнительные главы*, «ЛИБРОКОМ», 2010.

1.2. Koinot to‘g‘risidagi tasavvurlar paydo bo‘lishi.

Xozirgi zamon astrofizikasi XX asrning o‘rtalaridan boshlab rivojlandi. Kuzatuv nuqtai nazardan bu qayd etiluvchi elektromagnit nurlanishning spektral diapazonining kengayishi bilan bog‘liq. Ilgari astrofizika nisbatan tor diapazondagi – optik diapazondagi astronomik kuzatuvlarga asoslangan edi. Shuning uchun olimlarning diqqat markazida asosan Koinotdagi ko‘rinuvchi yorug‘lik nurini tarqatuvchi ob‘ektlar – yulduzlar, tumanliklar, galaktikalar – bo‘lgan. Ularning nurlanish mexanizmlari Yer sharoitida olingan ilmiy natijalarga asoslangan edi. Xozirgi paytda astrofizikada radioto‘lqinlardan tortib gamma-nurlargacha bo‘lgan keng diapazondagi kuzatuv natijalariga asoslangan xolda tadqiqotlar olib boriladi. Astronomiyaning keng diapazondagi kuzatuvlarga o‘tishi bilan ma‘lum ob‘ektlar to‘g‘risida batafsilroq ma‘lumotlar olish bilan bir qatorda yangi ob‘ektlarni, xususan, ekstremal xolatda joylashgan ob‘ektlarni kashf etish imkoniyatlari paydo bo‘ldi⁶. Ushbu ta‘kidlangan sharoitlarda modda yangi fizik xossalarga ega bo‘lib qoladi. Koinot rivojlanishining dastlabki davrlaridagi moddaning yuqori zichliklarga ega bo‘lishi; neytron yulduzlar ichki qismidagi va qora tuynuklar atrofidagi fizik jarayonlar; oq mittilar va neytron yulduzlardagi kuchli gravitatsion xamda magnit maydonlar bularga misol bo‘ladi. Aynan shunday ekstremal xolatdagi ob‘ektlarni tadqiqot soxalari xozirgi zamon yuqori energiyalar fizikasi va astrofizikaning asosiy va dolzarb muammolari hisoblanadi.

Ta‘kidlash joizki, mavjud zamonaviy texnologiyalar ekstremal xolatdagi moddaning makroskopik xossalarini faqatgina astrofizik ob‘ektlarni kuzatuv orqali tadqiq etish imkonini beradi. Shu jixatdan zamonaviy astrofizika ilg‘or fan soxasi hisoblanadi va u “Yerdagi fizika”ning kuchi yetmaydigan fundamental xodisa va jarayonlarning tadqiqoti bilan shug‘ullanadi. Masalan, Yerdagi laboratoriya sharoitida olingan magnit maydonlarning kuchlanganligi oq mittilar magnit maydonlari kuchlanganliklaridan (10^7 - 10^9 Gs) bir necha o‘n marta, neytron

⁶T. Padmanabhan, *Theoretical Astrophysics, Volume I*, Cambridge University Press, 2010.

yulduzlarning magnit maydonlaridan (10^{12} Gs) esa bir necha yuz ming marta kichikdir.

1.3. Koinot to'g'risidagi tasavvurlar rivojlanishi.

Quyida biz ekstremal astrofizik sharoitlari vujudga keluvchi uchta ob'ektni misol tariqasida keltiramiz: boshlang'ich davrdagi koinotning rivojlanishi, kosmik gamma-chaqnashlar (gamma-vspleski), va yaqinda galaktikamizda ochilgan "mikrokvazarlar"⁷.

Kosmologiyada asosiy muammo Koinotning rivojlanish modelini tanlash bilan bog'liq (ochiq – cheksiz kosmologik kengayish; yopiq – dastlabki o'ta zich moddaning kengayishi keyingi davrlardagi siqilish bilan almashishi) va "Katta portlash"dan keyin koinotning dastlabki kengayish ssenariysini aniqlashdan iborat.

Kosmologiya va astrofizikadamasofa shu qadar kattaki, biz maxsus yorug'likning biror vaqt davomida o'tgan yo'li bilan bog'liq atamalar kiritamiz: misol uchun,

$$1 \text{ yorug'lik-sekund} = (3.0 \times 10^8 \text{ m/s})(1.0 \text{ s}) = 3.0 \times 10^8 \text{ m} = 300,000 \text{ km};$$

$$1 \text{ yorug'lik -minut} = (3.0 \times 10^8 \text{ m/s})(60 \text{ s}) = 18 \times 10^6 \text{ km}.$$

Ular orasida eng ko'p ishlatiladigan birlik bu yorug'lik -yili (yoy):

$$\begin{aligned} 1 \text{ yoy} &= (2.998 \times 10^8 \text{ m/s})(3.156 \times 10^7 \text{ s/y}) \\ &= 9.46 \times 10^{15} \text{ m} \gg 10^{13} \text{ km} \gg 10^{16} \text{ m}. \end{aligned}$$

Oygacha va Quyoshgacha masofalar uchun odatda kilometr yoki metrni yorug'lik-sekundga almashtirgan holda foydalanamiz. Yerdan Oygacha masofa 384,000 km, bu 1.28 yorug'lik-sekundga teng. Yer-Quyosh orasidagi masofa esa 1.50×10^{11} m, yoki 150,000,000 km; bu 8.3 yorug'lik -minutiga teng (Quyoshdan chiqqan yorug'lik Yerga 8.3 minutda yetib keladi). Quyosh sistemasining olisdagi Plutongacha masofa 6×10^9 km, yoki 6×10^{-4} yoy⁸. Bizga eng yaqin bo'lgan yulduz Proksima Centauria taxminan 4.2 yoy uzoqligida joylashgan.

⁷Сивухин Д.В, Курс общей физики, учебное пособие для вузов, т. 5 – Атомная и ядерная физика, 3-е издание, ФИЗМАТИЗ, 2011.

⁸deyarli 5 yorug'lik-soatga teng

Koinotning hozirgi zamondagi kengayish sur'ati Xabbl doimiysi bilan aniqlanadi $H = 50 - 100$ (km/c)/Mpk (ya'ni kuzatuvchidan xar Megaparsekka uzoqlashganda ob'ektlar 50-100 km/s tezlik bilan uzoqlashadi. Ob'ekt qancha uzoqda joylashgan bo'lsa, u shunchalik katta tezlik bilan bizdan uzoqlashadi).

$$v=Hr$$

bu yerda v – ob'ektning kuzatuvchidan uzoqlashish chiziqli tezligi, r – kuzatuvchidan ob'ektgacha bo'lgan masofa.

Koinotning ochiq yoki yopiqligi uzoqdagi ob'ektlar tezligining kritik tezlikdan katta (ochiq, $v > v_{cr}$) yoki kichik (yopiq, $v < v_{cr}$) ligi bilan aniqlanadi.

Koinot evolyusiyasining konkret sxemasining qanday bo'lishidan qat'iy nazar hozirgi paytda “Koinotning issiq modeli” to'g'ri deb hisoblanadi. Bunda koinot rivojlanishining dastlabki davrida xarorat va zichlik ancha katta qiymatlarga ega bo'lgan. Dastlabki paytdagi modda to'la ionlashgan xolda bo'lgan va nurlanishning erkin yugurish yo'li koinotning o'lchamlariga nisbatan kichik bo'lgan⁹. Natijada modda va nurlanish termodinamik muvozanat xolatida bo'lgan va uning nurlanish spektri Plank formulasi bilan tavsiflangan va quyidagi chastota $\omega \approx 2.8 kT/\hbar$, \hbar – Plank doimiysi. Kengayish jarayonida modda va temperatura

kamayib borgan va “Katta portlash”dan so'ng taxminan million yildan $T \approx 5 \cdot 10^3 K$ bo'lgan va ionlarning elektronlar bilan rekombinatsiya jarayoni

boshlanib, neytral atomlar paydo bo'la boshlagan. Neytral moddalar nurlanish bilan o'zaro ta'siri nisbatan kuchsiz bo'lganligi sababli “relikt” (qoldiq) nurlar kvantlarining erkin yugurish yo'li koinotning o'lchamlaridan katta bo'lib qolgan. Ana shu “rekombinatsiya davri”dan boshlab modda va “relikt nurlari” mustaqil ravishda rivojlanib kelgan. Kengayuvchi koinotda Doppler effekti kuzatiluvchi relikt nurlanishi chastotasining kamayishiga va nurlanish spektrini aniqlovchi temperaturaning kamayishiga olib keladi¹⁰. Hozirgi davrda relikt nurlanish temperaturasi 2,7 K ga teng va u santimetr xamda millimetr radioto'lqinlar

⁹L. Rezzolla, O. Zanotti, *Relativistic Hydrodynamics*, Oxford University Press, 2013, 752 p.

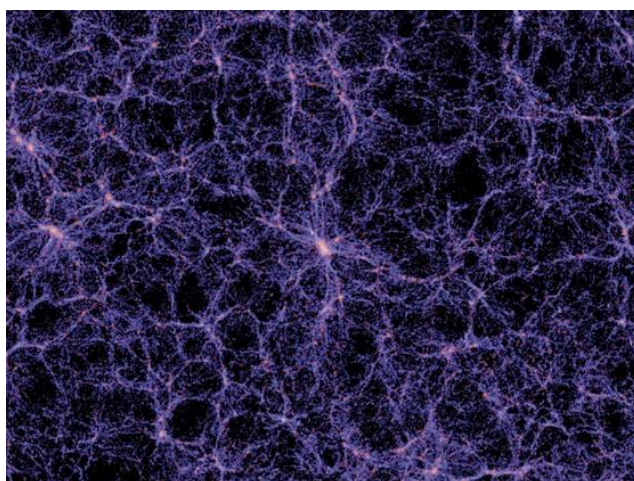
¹⁰Max Camenzind, *Compact Objects in Astrophysics*, Springer, 2007, 682 p.

diapazonida kuzatiladi. Shuni ta'kidlash joizki, reliktnurlanish 10-12 milliard yil ilgari rekombinatsiya davridagi koinot strukturasi to'g'risidagi ma'lumotlarni o'zida saqlovchi yagona manba bo'lib hisoblanadi.

1.4. Zamonaviy kosmologiya haqida qisqacha ma'lumot.

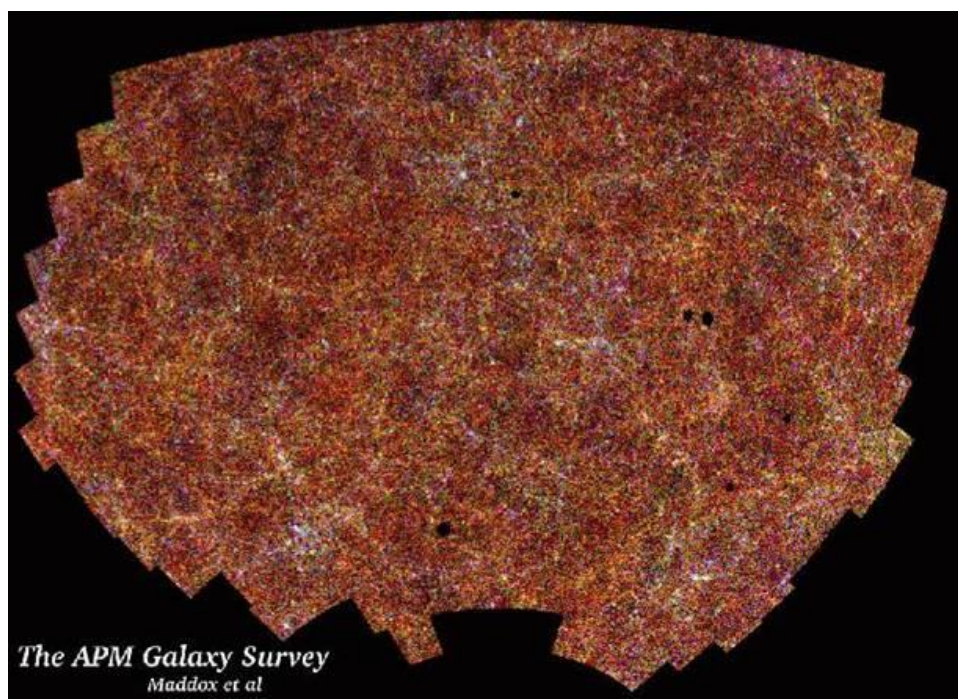
20-asrning boshlarida yulduzlar yulduz klasterlariga birlashtirilganligi va ular o'z navbatida galaktikalarni hosil qilishi ma'lum edi. Keyinchalik galaktikalar klasterlari va superklasterlari topildi. Ushbu ierarxiya xoxlagan darajalarga tarqaladi deb taxmin qilish mumkin bo'lar edi, ammo 1990-yillarda 1 milliard yorug'lik yili (300 megaparsek) masshtablarida - koinotning ko'rinadigan qismi deyarli bir jinlidir.

Zamonaviy konsepsiyalarga ko'ra, Koinot - bu deyarli hech qanday nurlanish bermaydigan materiya bilan ajratilgan, yetarli darajada tekis "sirt"lar to'plamidir. Ushbu sohalar (bo'shliqlar) yuzlab Mpc o'lchamga ega. Birinchi kuzatilgan sirt Buyuk Devor deb nomlanib, janubiy yulduzlar turkumidagi Gidra-Sentavra-Teleskop-Tovus-Hindu yulduz turkumlaridan o'tadi. Ungacha bo'lgan masofa 200 million yorug'lik yiliga teng, uning uzunligi esa 500 million yorug'lik yili va qalinligi atigi 15 million yorug'lik yiliga teng.



Koinotning yacheykali tuzilishi masalasi birinchi bo‘lib 1970-yillarda Yaan Yeynasto va uning hamkorlari tomonidan aytilgan (Tartu Observatoriyasi, SSSR). Keyinchalik, koinotning eng katta miqyosli tuzilishi aslida galaktikalar va ularning tizimlaridan tashkil topgan har xil o‘lchamdagi yacheykalardan tashkil etishi aniqlandi. Galaktikalar va ularning to‘plamlari bir-biri bilan kesishadigan va qalinligi taxminan 10 million yorug‘lik yiliga teng bo‘lgan egri "devorlarda" jamlangan. Ba’zi "devorlar" ni yuz millionlab yorug‘lik yillarida topish mumkin. Devorlari "tugagan" joylarda, ayniqsa, juda ko‘p galaktikalar (superklasterlar) mavjud. Yacheykalar ichida, devorlar orasidagi bo‘shliqlar mavjud (ular "bo‘shliq" - "bo‘sh joy" deb nomlanadi), ularda galaktika zichligi o‘rtacha ko‘rsatkichdan kamida o‘n baravar kam. Sovun pufakchasini bunday tuzilishga o‘xshatish mumkin. To‘g‘ri, galaktikalarning yacheykalar "devorlari" bo‘ylab tarqalishi, sovuq pufakchasidan farqli o‘laroq, bir hil bo‘lmagan taqsimotga ega va yacheykalarining o‘zi ham to‘g‘ri shaklga ega emas. Bunday megastrukturaning shakllanishi koinotning asosiy qismini tashkil etadigan ko‘rinmas qorong‘u materiyaning tabiati bilan chambarchas bog‘liqdir. Koinotdagi galaktikalar zanjirlarida, qorong‘i sovuq moddalar (aksionlar yoki boshqa gipotetik zarralar kabi) emas, balki issiq qorong‘u moddalar deb nomlangan zarralar (masalan, massiv neytrinolar) ustunlik qilishi ehtimoldan yiroq emas.

Sloan Digital Sky Survey tomonidan 2003 yilda yaratilgan koinot xaritasida, ikki milliard yorug‘lik yili uzoqlikdagi, 2400 kvadrat daraja maydonga ega bo‘lgan osmon hududida 200 000 ta galaktika mavjud. Ular Nyu-Meksiko shtatida bir vaqtning o‘zida ko‘plab galaktikalar spektrlarini yozib olish uchun



optimallashtirilgan teleskopdan foydalanganlar. Xaritaning asosiy xususiyatlaridan biri " **Sloan Buyuk Devori**" bo'lib, u taxminan 1,37 milliard yorug'lik yilini tashkil yetadi (Metagalaktikaning 5% - bugungi kunda Koinotda kuzatilgan eng katta tuzilish). **Wilkinson Microwave Anisotropy Probe** (WMAP) kabi boshqa teleskoplarning ma'lumotlari bilan birlashganda, Sloanning yangi kuzatuvlari bir necha asosiy astronomik konstantalarning aniqligini oshirishga yordam berdi: Xabbl doimiysi 0,70, 0,04 xatolik bilan; koinotdagi moddalarning ulushi (energiya ekvivalentida) 30% - 4% aniqlik bilan; neytrino massasining yuqori chegarasi 0,6 yeV; koinotning yoshi taxminan 14,1 milliard yilni tashkil etadi, aniqligi 1 milliardga teng.

1990-yillarning boshlarida amalga oshirilgan galaktikalarni avtomatik qidirish natijalari asosida tuzilgan APM xaritasi (Plitalarni avtomatik ravishda o'lchash) 100 daraja maydonda 2 milliondan ortiq galaktikalarni o'z ichiga oladi. Mintaqaning markazida Somon Yo'li Galaktikasining janubiy qutbi joylashgan. Yorqin mintaqalarda ko'proq galaktikalar mavjud va o'rtacha kattaroq galaktikalarning joylari ko'k rang bilan belgilangan. Yaqin atrofdagi juda yorqin yulduzlari bo'lgan osmon mintaqalari xaritadan kesilgan. Ushbu joylar qora ellipslarga to'g'ri keladi.

Mahalliy galaktikalarning yig'indisi (MGY) boshqa "devor" ga tegishli bo'lib, taxminan 200 million yorug'lik yili bo'lgan galaktikalar tizimini, shu jumladan mahalliy galaktikalar guruhini, galaktikalar virgo klasterini (dominant markaziy klasterni) va boshqa bir qancha klasterlar va galaktikalar guruhlarni o'z ichiga oladi. 1950-yillarda amerikalik astronom Jerar de Vaukullar tomonidan aniqlangan. MGY tarkibiga 100 ta galaktika guruhlari va klasterlari va 30 mingga yaqin galaktikalar kiradi; uning massasi kattaligi bo'yicha 10^{15} quyosh massasini tashkil qiladi. Uning yorqinligi juda ko'p yulduzlar uchun juda past bo'lgani uchun, superklaster massasining katta qismi qorong'u materiyaning massasi ekanligiga ishonish mumkin.

Nazorat savollari:

1. Tabiatdagi fundamental o'zaro ta'sirlar.

2. Gravitatsion kuchlar.
 3. Elektromagnit kuchlar.
 4. Kuchli o‘zaro ta’sir.
 5. Kuchsiz o‘zaro ta’sir.
 6. Kengayuvchi koinot.
 7. Katta portlash qachon yuz bergan.
 8. Galaktikalarning uzoqlashishi
 9. Galaktikalarning uzoqlashish tezligi.
- Inflyatsiya erasi. Kvarq va leptonlar.
10. Antizarrachalar.

2-MAVZU:RELYATIVISTIK ASTROFIZIKA VA KOSMOLOGIYA

REJA

- 2.1 *Galaktikani tekshirishdan maqsad*
- 2.2 *Relyativistik astrofizikaning ob’ektlari. Galaktikalar*
- 2.3 *Kosmologik modellar*
- 2.4 *Galaktikaning tuzilishi va tarkibi*

Tayanch iboralar: Somon yo‘li, chang tumanliklar, planetar tumanliklar, diffuz tumanliklar, ionlangan vodorod sohalari, qora tumanliklar, katta portlash, kosmik mikroto‘lqinli fon nurlanishi

2.1. Galaktikani tekshirishdan maqsad

Biz yuqorida yulduzlarning fizik ko‘rsatqichlari va ular orasidagi bog‘lanishlar, yulduzlarning ichki tuzilishi va evolyusiyasi bilan tanishib chiqdik. Barcha yulduzlar, shu jumladan Quyosh ham, o‘zidan atrof fazoga modda sohib turishini ko‘rdik va yulduzlararo muhitdagi chang+gaz moddani siqilishi natijasida yulduz hosil bo‘lishi mumkinligini, demak yulduzlararo muhit bilan yulduz orasida o‘zaro ta’sir va bog‘lanish borligiga e’tibor qaratdik. Ko‘pchilik yulduzlarning fizik ko‘rsatqichlari qisqa (o‘nlab yillar) vaqt oraliqlarda deyarli o‘zgarmaydi,

ayrimlariniki esa keskin o'zgaradi. Bunday yulduzlarni statsionar yulduzlar deb atadik. Ayrim yulduzlar qaynoq boshqalari past temperaturada, ayrimlari faol boshqalari sokin. Bunday rang-baranglik nima bilan bog'liq. Bu savollarga javob berish uchun yulduzni hosil qilgan manba tabiatini o'rganish zarur. Yulduzni Galaktikada egallagan o'rnini bilmoq zarur. Chunki yulduzlar galaktikada hosil bo'ladilar. Yulduzlar yakka holda emas balki juft yoki karri holda yoki atrofida sayyoralar tizimi bilan hosil bo'lishini ko'rdik. Bunday tizimlar yana ham katta tizim tarkibiga kirishi ayonlashib qoldi. Endi biz milliardlab yulduzlardan tashkil topgan ulkan tizimlarni tuzilishi va fizik ko'rsatqichlarini o'rganishga o'tamiz. Bu ishni biz yashayotgan yulduz tizimidan, Galaktikadan boshlaymiz. Avval Galaktikani ko'rinishi, uni o'rganish usullari bilan tanishib chiqamiz. Keyin Galaktikani tarkibi va unga kiradigan ob'ektlar tabiati, xususiyatlariga to'xtalamiz va nihoyat uning tuzilishi, fizik ko'rsatqichlari, xususiyatlari bilan tanishib chiqamiz.

2.2. Relyativistik astrofizikaning ob'ektlari. Galaktikalar

Somon Yo'li yulduzlar osmonini katta aylana (Galaktik ekvator) bo'ylab ikkiga bo'lib turadigan tim qorang'i osmon sahnidagi yorug' belbog' ko'rinishga ega. Somon Yo'li Javzo, Savr, Aravakash, Kosseopeya, sefey, Oqqush, Qalqon, Qavs, Iloneltuvchi, Aqrab, sentavr, Janubiy But, Kil, Yelkan, Katta It, Yakka Shoh va Orion yulduz turkumlari orqali o'tadi. Galaktika markazi Qavs yulduz turkumida, uning Aqrab bilan chegarasi yaqinida (S) ko'rinadi. Bu yo'nalishda Somon Yo'li maksimal (18°) kenglikka ega. markaz atrofi quyuqmasi $18^\circ \times 28^\circ$ kattalikdagi yorug' sohani egallaydi. Somon Yo'lini o'rtasidan o'tadigan katta aylana galaktik ekvator deb ataladi va u osmon ekvatori bilan $62^\circ.6$ burchak hosil qiladi¹¹.

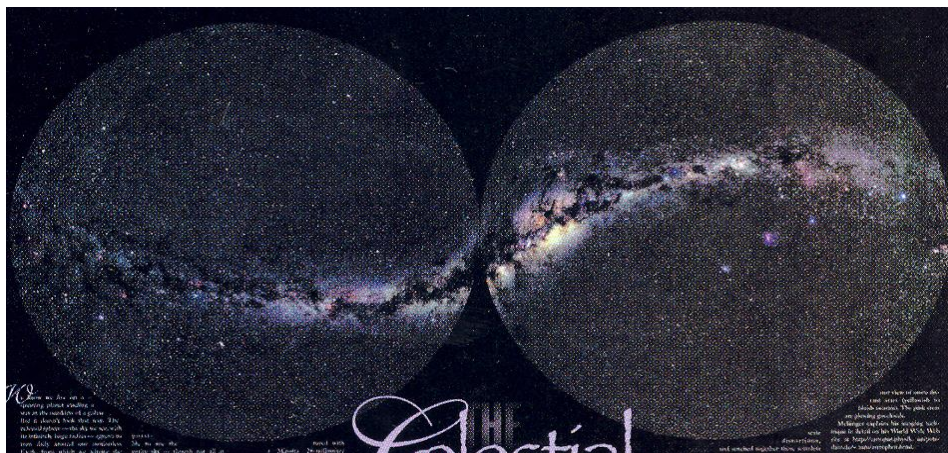
Galaktikada yulduzlarning o'rne ikkita burchak koordinata galaktik uzunlama (l) va kenglama (b) orqali belgilanadi: l-Galaktika markazidan boshlab sharqqa tomon 0° dan 360° gacha, b-galaktik ekvatoridan qutblar tomon $\pm 90^\circ$ gacha o'zgaradi. Galaktikaning tuzilishini o'rganish uchun uning tomonlari bir yoy

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

gradusga teng kvadrat shakldagi maydonchalarda ma'lum (m) kattalikkacha bo'lgan yulduzlarni sanashga asoslangan. Bu usulni V. Gershel (1738-1822) birinchi bor qo'llagan va osmonning har xil uzunlama (l) va kenglamaga (b) ega 1083 ta maydonchasida $14^m \cdot 5$ kattalikkacha bo'lgan yulduzlarni sanab Galaktika modelini tuzgan. Hozirgi zamonda Galaktika tuzilishini o'rganishda ikki xil statistik usul qo'llaniladi. Birinchi usul osmonda m -nchi kattalikkacha yorug'likka ega bo'lgan barcha yulduzlarni sanashga asoslangan. Bunday usul quyidagi natijalarni berdi:

$N(0)=4$ (eng yorug'dan boshlab nolinch kattalikkacha bo'lgan yulduzlar soni), $N(1)=17$ (eng yorug'dan birinchi kattalikkacha), $N(2)=50$, $N(3)=175$, $N(6)=3100$, $N(7)=8400$, $N(10)=166 \times 10^3$, $N(21)=889 \times 10^6$.

Ko'rinib turibdiki, xira yulduzlar soni $N(m)$ orta bormoqda. Galaktikada eng ko'p yulduzlar $m=30^m$ kattalikka ega. $m>30^m$ yulduzlar soni kamaya boradi. Galaktikada hammasi bo'lib 200 milliard yulduz bor.



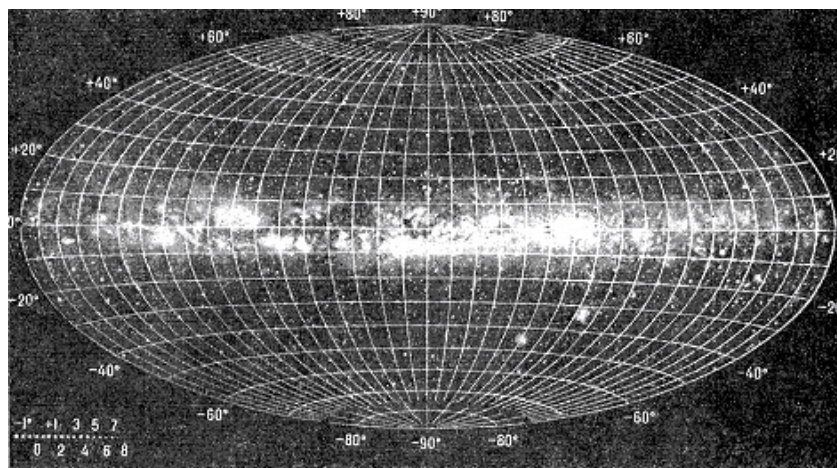
1-rasm. Osmon sferasining shimoliy (chapda) va janubiy (o'ngda) yarimsharlarida Somon yo'lini ko'rinishi.

Ikkinchi usul-differensial yorug'lik funksiyasini ($A(m)$) ni topishga asoslangan. $A(m) = \frac{dN(m)}{dm}$ m -o'zgarishi bilan $A(m)$ ham orta boradi.

Yuqorida keltirilganlardan $N(6): N(5)=2,85$, $N(13): N(12)=2,47$ va $N(21): N(20)=1,76$. Ya'ni, xira yulduzlar sonini ko'payish surati kamaya boradi. Bu Galaktikada yulduzlarni notekis taqsimlanganligini ko'rsatadi. Agar fazoda

yulduzlar bir tekis taqsimlanganda $\frac{N(m+1)}{N(m)} = 3,98$ bo'lar edi¹².

Bir xil kattalikdagi biroq har xil galaktik kenglamaga ega bo'lgan maydonchalarda yulduzlar soni har xil bo'ladi. Bunday sanashlar Galaktika tekisligi ($b=0$)da yulduzlar soni eng ko'p-kenglamaga ega bo'lgan maydonchada ekanini ko'rsatadi. $N(m;b)$ -eng yorug' yulduzdan to m -nchi kattalikkacha bo'lgan yulduzlar soni. $N(m,0^0)$ -galaktika tekisligidagi $N(m,90^0)$ -qutblari yo'nalishida kuzatiladigan m -kattalikkacha bo'lgan yulduzlar soni. $N(m,0^0): N(m,90^0)$ -galaktik konsentratsiya deb ataladi. Kuzatishdan olingan natijalarga ko'ra $N(7,0^0): N(7,90^0)=3,5$ va $N(21,0^0): N(21,90^0)=44,2$. Ya'ni yulduzlarning 95 % i somon yo'lida ko'rinadi. Bunday sanashlardan tuzilgan Galaktika modeli-diametri 30Kpk (kiloparsek) bo'lgan ulkan disk ko'rinishiga ega. Quyosh yaqinida diskning qalinligi 0,5 Kpk. Quyosh Galaktika markazidan 10 Kpk, tekisligidan esa 25 ps shimolda joylashgan.



2-rasm. Galaktikani shakli: a) galaktika tekisligidan qaraganda,
b) galaktika qutbidan qaraganda.

Quyosh yaqinida yulduz konsentratsiyasi $0,064 M_{\odot} \text{pk}^{-3}$, ya'ni tomonlari 2,5 pk bo'lgan kub ichiga bitta massasi Quyoshnikidek keladigan yulduz to'g'ri keladi. Galaktika o'zagida konsentratsiya bundan million marta ko'pdir.

Galaktikada alohida, qo'shaloq yoki karrali ko'rinadigan yulduzlar to'dalari ham kuzatiladi. Yulduz to'dalarini ikki xili mavjud: yulduzlarning tarqoq va

¹²Arnab Rai Choudhuri, *Astrophysics for Physics*, Cambridge University Press, 2010, 471 p.

sharsimon to‘dalari. Tarqoq to‘dalar (1180 tasi ro‘yxatga olingan) bir necha o‘ntadan, bir necha o‘n mingtagacha, sharsimon to‘dalari esa (136 tasi ma‘lum) bir necha mingdan bir necha o‘n mingtagacha yulduzdan iborat bo‘ladi. To‘dalardan tashqari Galaktikada qora chang bulutlari (1000 lab), yorug‘ diffuz tumanliklar (150) ham kuzatiladi. Qora tumanliklar o‘zidan orqadagi yulduzlar nurini xiralashtirishi tufayli nomoyon bo‘ladi. 3-rasmda Galaktika markazining fotosurati keltirilgan va unda qora sohalarni ko‘rish mumkin. Bular qora tumanliklardir. Masalan, «Ko‘mir qop» deb ataladigan qora tumanlik yorug‘ yulduzlar fonida yaqqol ko‘rinib turibdi. Qora tumanliklar Somon Yo‘lini Oqqush yulduz turkumidan boshlab to Galaktika markazigacha (Aqrab yulduz turkumi) ikkiga bo‘linib ko‘rinishiga sababchidirlar¹³. Katta yorug‘ diffuz tumanliklar bilan bir qatorda kichik halqa yoki gardish shakldagi mingdan ortiq planetar tumanliklar ham kuzatiladi. Bunday yorug‘ tumanliklar shu‘lalanayotgan gaz bulutdan iboratdirlar. Demak, yulduzlararo muhitda modda chang va gaz, shuningdek ular aralashmasidan iborat bulutlar shaklida ko‘rinadi. Tarqoq holdagi bundan tashqari yulduzlararo muhit chang va gaz bilan to‘ldirilgan. Endi Galaktikani ana shu tashkil etuvchilari tabiati bilan tanishib chiqamiz.



3-rasm. Galaktika markazining fotosurati.

2.3. Kosmologik modellar

Gallaktikalarning bunday tarzda, ya‘ni qancha uzoqda bo‘lsa shuncha katta tezlik bilan bizdan uzoqlashishi nimani bildiradi? Bu shundan darak beradiki,

¹³T. Padmanabhan, *Theoretical Astrophysics, Volume III*, Cambridge University Press, 2010.

qachonlardir, qandaydir portlash ro'y bergan. Hozir bir qarashda biz shu jarayonning huddi o'rtasida turgandek tasavvur paydo bo'ladi. Ammo bunday emas. Kengayish koinotning har qanday nuqtasidan bir hil bo'lib ko'rinadi. Buni tushunish uchun rasmlarga qarang kuzatuvchi Yerda turibdi deb faraz qilib. Strelkalar bilan gallaktikalarning harakatlari ko'rsatilgan. Uzoqroqdagi galaktikalar uzunroq strelka bilan tasvirlangan. Endi savol, agar biz rasmda ko'rsatilgan A gallaktikada bo'lganimizda nimani kuzatgan bo'lar edik. Yerdan turib kuzatilsa u o'ng tomonga V_A tezlik bilan ketayotgani ko'rinadi. Agar A gallaktikadan turib kuzatilsa Yer V_A tezlik bilan chap tomonga ketayotgani ko'rinadi. A ga nisbatan boshqa gallaktikalarning tezligini hisoblash uchun, barchasining tezligini vector ko'rinishda qo'shib chiqamiz. Bundan kelib chiqadiki, rasmdagidek, barcha gallaktikalar kuzatish nuqtasidan masofaga proporsional ravishda harakatlanmoqda.

Shunday qilib, koinotning kengayishini quidagicha tushuntiramiz: barcha gallaktikalar biri biridan har million yorug'lik yilida 21 km/s ga farq qiluvchi tezlik bilan uzoqlashmoqda. Bu g'oya va undan kelib chiqadigan natija juda ham muhim bo'lib, biz uni tasvirlashga harakat qilamiz.

Kosmologiyada asosiy qabul qilingan printsip shu ediki, unda katta masshtablarda turli nuqtalardagi kuzatuvchilar uchun Koinot bir-hilda ko'rinadi. Boshqacha aytganda, Koinot izotrop hossaga(ya'ni, turli yo'nalishlarda bir hilda) va birjinslilik hossasiga(ya'ni, bizga boshqa gallaktikada turganimizda ham u shunday ko'rinadi) ega ekan.

Bu kosmologik prinsip deb ataladi. Bizning imkoniyatimizdagi kichik masshtabda esa, masalan o'zimizning gallaktikadan turib qaraganimizda u bajarilmaydi, chunki osmonimiz turli yo'nalishlarda tulicha bo'lib ko'rinadi. Bu albatta qadimdan qabul qilingan tahmin hisoblanadi, chunki yetarlicha katta masshtablarda kuzatsak yulduzlar va gallaktikalarning taqsimlanish zichligi barcha yo'nalishlarda bir-hil bo'lishi kerak. Bu prinsip 700 million yorug'lik yilidan kattaroq bo'lgan masshtabda bajariladi. Rasmlarda tasvirlanganidek, Koinotning kengayishi kosmologik prinsip bilan mos keladi va undan tashqari, deyarlik bir jinsli

taqsimlangan mikroto'liqlik fon nurlanishi ham buni tasdiqlaydi. Kosmologik prinsipdan yana bir muhim hulosa kelib chiqadiki, koinotning biz yashab turgan qismi eng muhim joy hisoblanmaydi.

Habbl qonuniga ko'ra Koinotning kengayishi shundan dalolat beradiki, demak gallaktikalar dastlab bir-biriga ancha yaqin joylashgan bo'lgan. Bu esa dastlab qaynoq va siqilgan holatdagi hozirda esa to'htamasdan kengayayotgan Koinot haqidagi Buyuk portlash nazariyasining asosi hisoblanadi. Biz keying boblarda Buyuk portlash nazariyasi haqida gaplashamiz, hozir esa keeling Koinotning yoshi nechada ekanligi bilan qiziqamiz.

Koinotning yoshini baholashning bir usuli bu Habbl parametridir. Agar har 10^6 yorug'lik yili uchun 21km/s farq qilishini e'tiborga olsak, moddalar dastlabki harakatlanish joyidan toki hozirgacha ($v=d/t$ tezlik bilan) quyidagicha vaqt harakat qilgan:

$$t = \frac{d}{v} = \frac{d}{H_0 d} = \frac{1}{H_0} = 14 \cdot 10^9 \text{ yil}$$

yoki 14 milliard yil. Koinot yoshining bunday hisoblanishi *harakteristik kengayish vaqti* deb ataladi yoki Habbl vaqti deyiladi. Bunday hisoblanish hatoliklardan holi emas, chunki bunda kengayish tezligi o'zgarmas deb hisoblangan(aslida esa unday emas). Hozirgi kundagi aniq hisob-kitoblar esa Koinotning yoshi $13,8 \times 10^9$ yoshda ekanligini tasdiqlamoqdalar.

Statsionar model

Buyuk portlash nazariyasini batafsil tanishtirishdan oldin, Buyuk portlash ning muqobili bo'lgan Statsionar model bilan tanishamiz. Unga ko'ra, Koinot cheksiz yoshda bo'lib, u hozir ham huddi dastlab qanday paydo bo'lgan bo'lsa shunday ko'rinishga ega.(Bunda aytilishicha, vaqt bir jinsli va fa'zo kosmologik prinsipga batamom bo'ysunadi). Statsionar modelga binoan, Koinotda hech qanday muhim o'zgarishlar amalga oshmagan, hatto Buyuk portlash ham bo'lmagan deyiladi. Gallaktikalarning bir-biridan uzoqlashayotgan bir holatda bu prinsipni saqlab qolish uchun, bir hilda saqlanish g'oyasini rivojlantirish kerak. Statsionar model 20 asro'rtalarigacha Buyuk portlash nazariyasiga asosiy raqobatchi bo'lgan. Ammo

mikroto‘lqinli fon nurlanishimig kashf yetilishi va boshqa qator kuzatishlar Buyuk portlash nazariyasini umume’tirofiga sabab bo‘ldi.

Katta portlash va kosmik mikroto‘lqinli fon nurlanishi

Koinotning kengayishi, ob’ektlarning borliqda bir-biriga hozirgidan yaqin bo‘lganini ye’tirof etadi. Bu shundan darak beradiki, Koinot bundn tahminan 14 milliard yil oldin judayam katta harorat va zichlikka ega sohaning portlashidan hosil bo‘lganini aytadi. Olam yaralganda portlash bo‘lmagan, chunki portlash natijasida materiya har tomonga sochiladi. Buning o‘rniga Buyuk portlash fa’zoning kengayishi natijasida ro‘y bergan. Dastlab judayam kichik bo‘lgan koinot, kengaya boshlagan va hozirda ham bu davom etmoqda. Judayam katta zichlikka ega bo‘lgan koinotning dastlabki holatini, atrofi katta bo‘shliqdan iborat fa’zo markazidagi massa sifatida qarash noto‘g‘ridir. Dastlabki juda katta zichlikka ega massa butun koinotni tashkil etgan. Biz Koinotning qachonlardir kichik bo‘lganini aytar ekanmiz, unda ob’ektlar(masalan elektronlar yoki gallaktikalar) orasidagi masofalar kichik bo‘lganini nazarda tutamiz. Koinot har doimgidek cheksiz bo‘lib qolaveradi. Faqat biz kuzatishimiz mumkin bo‘lgan qismigina biz uchun cheklidir. Buyuk portlashning yana bir tasdiqlaridan biri bu relikt nurlanishdir. U quyidagicha kashf etildi. 1964 yilda Arno Penzias va Robert uilson radioto‘lqinlarni tutish maqsadida o‘zlarining antenasini osmonga qaratib o‘rnatdilar(23-rasm). Uni yordamida ular gallaktikamiz tashqarisidan o‘tadigan keng nurlanishni aniqay oldilar. Ular Elektromagnit spektori sohasida $L=7.35$ smli to‘lqin uzunlikka ega nurlarni o‘lchadilar. To‘lqin intensivligi esa vaqtga ham yo‘nalishga ham bog‘liq emas edi, u har doim o‘zgarmas edi. U koinotning barcha tomonlaridan bir hil intensivlik bilan kelayotgan edi. Bundan hulosa qilish mumkinki, bu nurlanish Koinotning yaralishida qanday bo‘lgan bo‘lsa shundayligicha kelayogan edi.

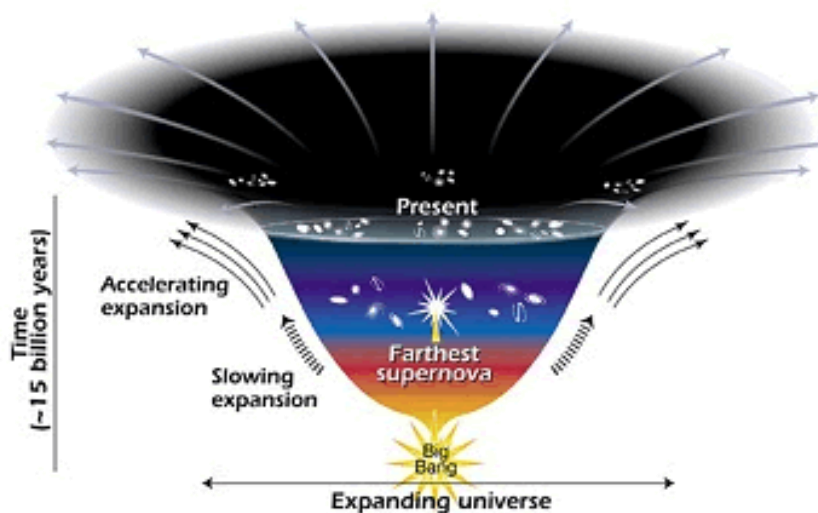


Arno Penzias (o'ngda) va Robert Wilson. Ular ortida o'zlari o'rnatgan Arno antennasi.

Koinotning qanday tuzilganligi xaqida ma'lumotlar insoniyat yaratgan asboblardan yordamida kuzatish mumkin bo'lgan uzoq masofalarni o'rganish orqali aniqlanadi. Ushbu masofalar astronomiyada ishlatiluvchi masofa yorug'lik yili birliklari bilan tavsiflansa (1 yorug'lik yili = $9.5 \cdot 10^{12}$ km yoki ~ 0.3 parsek, 1 parsek $\sim 3.1 \cdot 10^{13}$ km), eng uzoqda joylashgan ob'ektlargacha bo'lgan masofa 5000 million parsek yoki 15 milliard yorug'lik yiliga teng! Xozirgi kunda kuzatilayotgan koinot ulkan yulduzlar yig'indisi – galaktikalardan va yulduzlararo muxitdagi gazlardan iborat. Aslida esa koinot modda va nurlanishlardan iboratdir¹⁴.

Dastlab koinotdagi modda xaqida suxbatlashamiz. Ma'lumki, modda atom yadrolaridan – nuklidlardan tashkil topgan. Yadroda esa o'z navbatida protonlar va neytronlar joylashgan. Ularni nuklonlar deb atashadi. Protonlar soni yadroning zaryadini aniqlab beradi (Z), proton va neytronlarning (N) umumiy soni uning massa soni deyiladi (A), ya'ni $Z + N = A$. Shunday qilib yadroning ikki parametri – Z va A – nuklid va moddaning xarakteristikasini aniqlab beradi.

¹⁴James B. Hartle, Gravity: An Introduction to Einstein's General Relativity, Pearson Education Ltd., 2013, 554 p.



1-rasm. Koinotning katta portlashdan keyin kengayishi.

Masalan koinotda eng yengil sanalgan va keng tarqalgan Vodorod atomi uchun $Z=1$ (uning belgilanishi – ${}^1\text{N}$), og‘ir yadrolardan biri sanalgan uran uchun esa $Z = 92$ (${}^{92}\text{U}$). Astrofizikaning asosiy vazifalaridan biri bu koinotdagi mavjud bo‘lgan 300 ga yaqin nuklidlarning paydo bo‘lishi va tarqalganlik taqsimotini o‘rganishdan iborat.

Buyuk fizik olimlar I. Nyuton va A. Eynshteynlar koinotni statik deb xisoblaganlar. I. Nyuton koinotning siqilishidan qo‘rqib, undagi galaktikalar sonini cheksiz katta deb xisoblagan. A. Eynshteyn 1917 yilda esa o‘zining umumiy nisbiylik nazariyasida katta massaga ega bo‘lgan osmon jismlarining bir-biridan uzoqlashishini tavsiflash uchun sun‘iy ravishda kosmologik xadni kiritgan. Shu yilning o‘zida amerikalik olim V. Slayfer kosmik tumanliklarning uzoqlashishi xaqidagi ilmiy ishini chop etgan, 1924 yilda esa rus olimi A. Fridman uzoqlashuvchi galaktikalar nazariyasi – kengayuvchi Koinot nazariyasini ishlab chiqdi. Ushbu nazariya bizning olamni tushunishdagi tasavvurlarimiz uchun revolyusion kashfiyot bo‘ldi¹⁵.

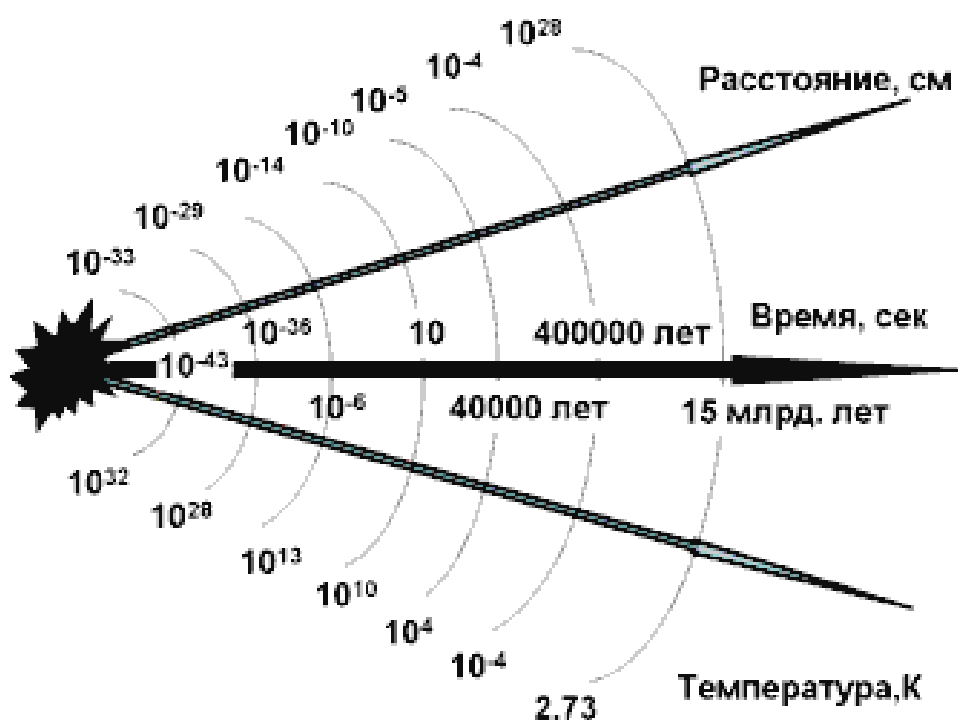
1929 yilda amerikalik E. Xabbl galaktikalarning uzoqlashishini kuzatuv natijalari orqali isbotladi va Fridman gipotezasi uzoqlashayotgan galaktikalardan (razbegayuyshie galaktiki) kelayotgan elektromagnit nurlarning qizil siljishi

¹⁵James B. Hartle, Gravity: An Introduction to Einstein’s General Relativity, Pearson Education Ltd., 2013, 554 p.

natijasida eksperimental tasdig'ini topdi. Galaktikalarning uzoqlashish tezligi ulargacha bo'lgan masofaga proporsional ekanligi aniqlandi. Ushbu eksperimental natijalar yordamida Koinotning yoshi baxolandi – bu yosh taxminan 15 milliard yilga tengligi aniqlandi. Shunday qilib kosmologiyada yangi davr boshlandi.

Tabiiy savol o'z-o'zidan tug'iladi: Koinot rivojlanishining boshida nima bo'lgan?

XX asrning 40-yillarida buyuk olim G. Gamov olam yaralishining yangi nazariyasini taklif etdi. Unga ko'ra bizning koinot Katta portlash natijasida vujudga kelgan (rasmga qarang).



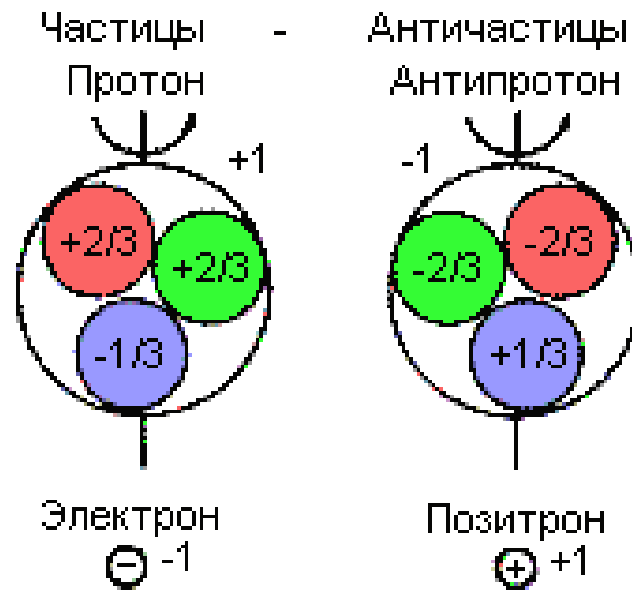
2-rasm. Katta portlash diagrammasi – Kengayuvchi koinotning xarakteristikasi va paydo bo'lishi xamda asosiy davrlari. 10⁻⁴³ sekundgacha xamma o'zaro ta'sirlarning Buyuk birlashishi davri xukmronlik surgan va 10⁻⁶ sekundda kvarklarning adronlarga birlashishi bilan tugagan. 10 sekunddan boshlab radiatsion era boshlangan, ya'ni nurlanish zichligi modda zichligidan katta bo'lgan. 40000 yildan so'nggina moddaning zichligi nurlanish zichligidan ustun bo'la boshlagan. Buning natijasida atomlar paydo bo'la boshlagan (4.000.000 yildan so'ng). Moddaning dominant davri 15 milliard yil o'tgach xam bizning vaqtimizgacha saqlanib kelmoqda.

Katta portlash bu dastlabki paytdagi Koinotning kichik xajmida mujassamlashgan ulkan zichlik, temperatura va bosimning kengayish jarayonida pasayib borishidir. Dastlabki paytda Koinot 10^5 g/cm^3 zichlikka va 10^{10} K temperaturaga ega bo'lgan. Taqqoslash uchun Quyoshning markazidagi temperatura ushbu xaroratdan 1000 marta kichikdir.

2.4. Galaktikaning tuzilishi va tarkibi

Inflyatsion era deb nomlangan qisqa muddat ichida (10^{-36} sek) kichkinagina koinotimiz fundamental zarrachalardangina iborat bo'lgan. Ushbu fundamental zarrachalar nuklidlar, protonlar va neytronlardan farqli ravishda bo'linmasdir. Ushbu zarrachalar fermionlar bo'lib, proton va neytronlarning tarkibiy qismini tashkil etadi va bir-biri bilan yagona o'zaro ta'sir kuchlari orqali ta'sirlashgan (ushbu ta'sir kuchlari faqat koinotning dastlabki etapida mavjud bo'lgan). Ushbu o'zaro ta'sir bozonlar orqali amalga oshirilgan. Bunday bozonlarning to'rt turi ma'lum – foton (gamma kvant), glyuon va ikkita W va Z bozonlar. Fundamental zarrachalarning o'zlari esa 6 xil kvarklar va 6 xil leptonlardan iborat fermionlardir. Aynan shu 12 ta fundamental zarrachalar guruxi va 4 ta bozonlar dastlabki Koinotning “xamirturushi”ni tashkil etgan. Shu o'rinda bulardan tashqari xar bir fundamental zarraning antizarrasi bor ekanligini xam qayd etish lozim¹⁶. Anti zarracha zarrachadan qaysidir zaryadining ishorasi bilan farq qiladi. Eng sodda xolda bu zaryad elektr zaryadi bo'lishi mumkin (rasmga qarang). Masalan, leptonlardan biri elektron manfiy va musbat zaryadga ega bo'lishi mumkin. Musbat zaryadlangan lepton pozitron deb nomlanadi va u elektronning antizarrachasidir. Antizarrachalar foton va ayrim zarrachalardan tashqari (ular uchun anti zarrachalar xam o'zlari hisoblanadilar) barcha zarrachalarda mavjud.

¹⁶ T. Padmanabhan, *Theoretical Astrophysics, Volume I*, Cambridge University Press, 2010



3-rasm. Zarrachalar (proton va elektron) va ularning antizarrachalari – antiproton va pozitron. Agar elektron va pozitron bir-biridan faqatgina elektr zaryadlari bilan farqlansa, proton va antiproton esa ichki strukturalarining farqi bilan ham ajralib turishadi (kvarklar va antikvarklar). Zarracha va antizarrachaning spini esa bir hil bo‘ladi.

Koinotning dastlabki paytidagi o‘ta yuqori temperatura zarralarning o‘zaro to‘qnashuvi va boshqa zarrachalarga aylanishini vujudga keltirgan. Masalan, ikkita fotondan elektron va pozitron juftligi paydo bo‘lgan, ularning o‘zaro to‘qnashuvi esa (zarra va antizarraning to‘qnashuvi – annigilyatsiya deyiladi) yana fotonlarning paydo bo‘lishiga olib keladi

$$(2\gamma) \rightarrow (ye^+, ye^-)$$

$$(ye^+, ye^-) \rightarrow (2\gamma)$$

Neytrino (ν) va antineytrino ($\bar{\nu}$) larning paydo bo‘lishi xam mumkin bo‘lgan

$$(ye^+, ye^-) \rightarrow (\nu, \bar{\nu})$$

Neytrino va antineytrinoning to‘qnashuvi esa o‘z navbatida elektron va pozitron juftligini hosil qilgan. O‘ta yuqori temperatura zarralarning o‘zaro to‘qnashuvi va boshqa zarrachalarga aylanishi qaynab turgan “sho‘rvaga” o‘xshab ketadi, bunda

“sho‘rvadagi” zarra va antizarralar soni bir-biriga teng. Bu Koinot bilan bir qatorda Antikoinotning mavjudligi kelib chiqadi.

Xozirgi zamon fizik tasavvurlarga ko‘ra Katta portlashdan keyin paydo bo‘lgan fermion va bozonlar bo‘linmas deb xisoblanadi. Bu ularning ichki strukturasi to‘g‘risida ma‘lumotning yo‘qligini anglatadi. Fermion va bozonlar Koinot rivojlanishining 10^{-10} sek gacha massasiz zarrachalar bo‘lgan kichik koinotning “qaynab turgan sho‘rvasi”ning asosiy tashkil etuvchisi bo‘lgan¹⁷.

Koinot rivojlanishining dastlabki 10^{-36} sekundida yagona ta’sir nazariyasi barbod bo‘ldi. O‘zaro ta’sirlarning tabiati o‘zgara boshladi. Yuqori xarorat fundamental zarrachalardan og‘irroq zarralar xosil qilish imkonini bermagan. Keyingi 1 mks dan so‘ng Koinot sovishi natijasida kichik zarrachalar massaga ega bo‘la boshlaydilar va koinotning o‘lchami 10^{-14} sm ga teng bo‘lib qoladi. Shu paytda Koinotdagi moddani tashkil etuvchi “g‘isht”lari – kvarklar paydo bo‘la boshlaydi. Kvarklarning o‘zaro birlashib, massiv zarrachalar – adron va antiadronlar xosil bo‘la boshladi. Koinotning sovishi adronlar sonining leptonlar soniga nisbatan pasayishiga olib keldi. Leptonlar orasida neytrinolar xam bor. Koinotning yoshi 10 sek bo‘lganda massaga ega bo‘lmagan neytrino qolgan zarralardan mustaqil ravishda kengaya boshladi. Ushbu neytrinolar relikt neytrinolari deb ataladi. Ushbu nurlanishlar xozirgi paytgacha saqlanib kelmoqda.

Anigilyatsiya sur‘atining oshishi fotonlar sonini ortishiga olib keldi. Koinot deyarli fotonlar va neytrinolardan iborat bo‘lib qoldi. Koinot rivojlanishining bu davri radiatsion davr deb ataladi. Koinotning yanada kengayishi esa 10 ming yillardan so‘ng modda zichligining nurlanish zichligidan ortishiga olib keldi.

Nazorat savollari:

11. Relyativistik astrofizika deyilishiga nima sabab?
12. Astrofizik ob’ektlarga nimalar kiradi?
13. Gravitatsion qizil siljish nima?

¹⁷Povh, K.Rith, C.Scholz, F. Zetsche, Particles and nuclei. An introduction to the physical concepts. Springer, 2006.

14. Gravitatsion qizil siljishning sababi nimada?
15. Qanday kosmologik modellar bor?
16. Koinotning kengayishi qanday tushuntiriladi?
17. Xabbl qonuni va doimiysining fizik ma'nosi qanday?
18. Inflyatsion model nima?

3-MAVZU: NUKLEOSINTEZ VA ELEMENTLARNING TARQALISHI

REJA

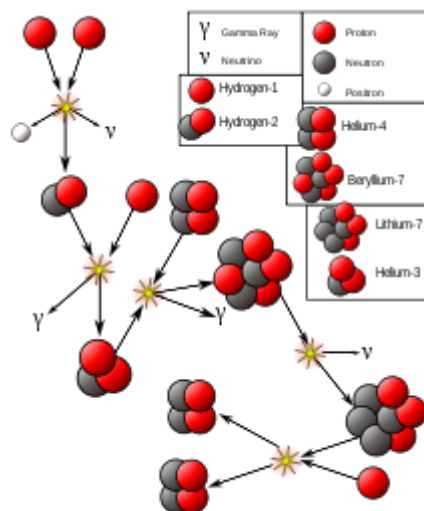
- 3.1. Birlamchi yadroviy reaksiyalar hamda dastlabki nukleosintez.
- 3.2. Koinotda yengil elementlarining tarqalishi.
- 3.3. Og'ir elementlarning tashkil topishi va tarqalishi.
- 3.4. O'ta yangi yulduzlar va turlari.
- 3.5. Yadroviy geoxronologiya.

3.1. Birlamchi yadroviy reaksiyalar hamda dastlabki nukleosintez

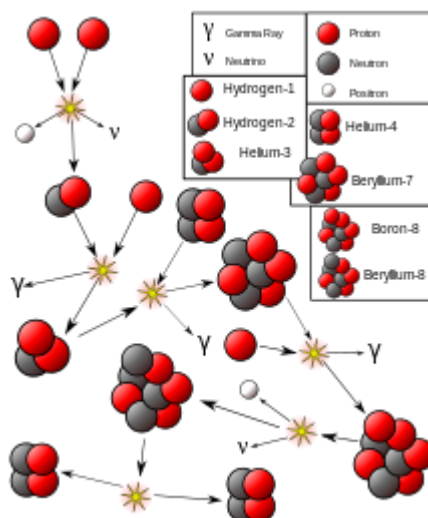
rr-zanjir reaksiyasi yulduzlardagi vodorodning geliyga aylantiradigan reaksiyalardan biri. Bu zanjir reaksiyasi massasi Quyosh massasiga teng yoki undan kichik bo'lgan yulduzlarda sodir bo'ladi. Boshqa ya'ni massasi Quyosh massasidan deyarli 1.3 marta katta bo'lgan yulduzlarda esa *SNO-sikllari* rotonlarni geliyga aylanishini ta'minlaydi.

Asosan, proton-proton reaksiya ularning kinetik energiyasi ya'ti harorati elektrostatik potentsiyal energiyada katta bo'lgandagina sodir bo'ladi.

Quyoshda deyteriy hosil bo'lishi jarayonlari juda qaynoq kechadi. 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 xozirda o'zining aktiv bosqichida bo'lgan Quyoshdir va uning yonilg'i zahirasi yana 5 milliard yilga yetadi.



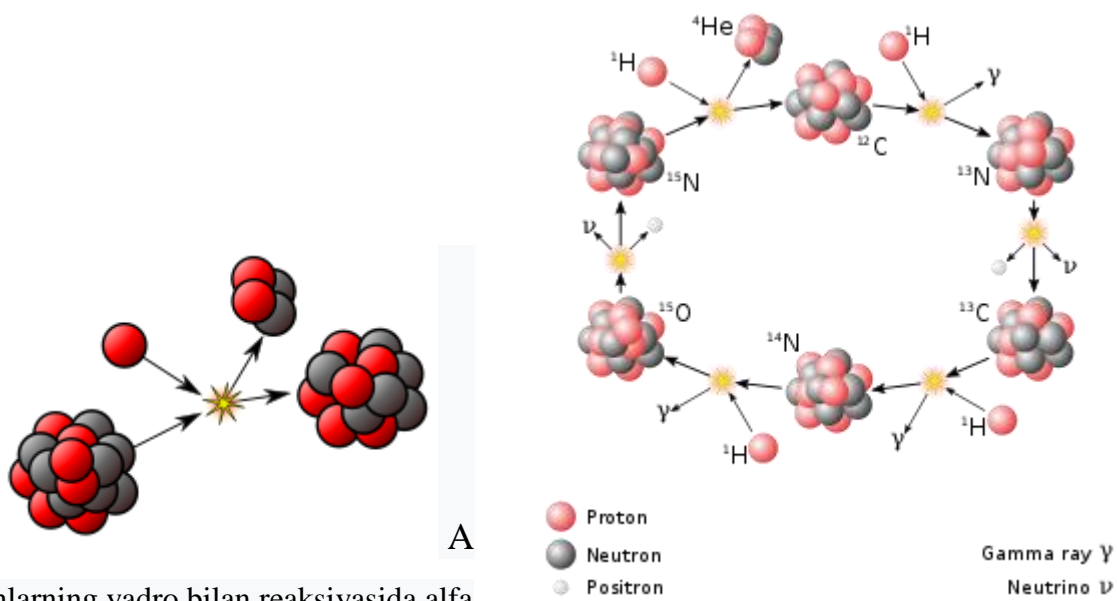
Proton-proton zanjiri 1- reaksiya kanali



Proton-proton zanjiri 2- reaksiya kanali

3.2. Koinotda yengil elementlarining tarqalishi

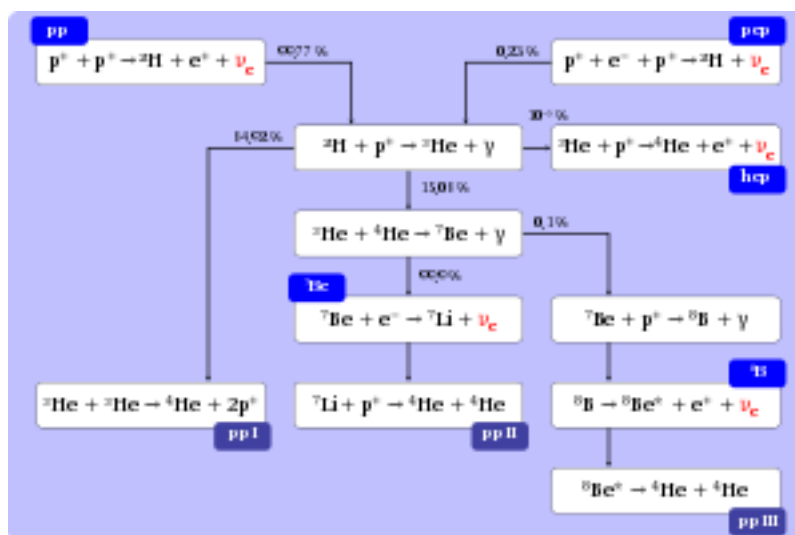
SNO-sikli (carbon–nitrogen–oxygen, «uglerod-azot-kislorod») bu protonlar ishtirokida yulduzlardagi vodorodning geliyga almashini bilan kechadigan zanjir reaksiyalarning biri hisoblaniladi. *SNO-siklik* katalizator sikli bo‘lib, u odatda massasi Quyosh massasidan 1.3 marta katta bo‘lgan yulduzlardagina uchraydi. Ushbu siklda 4 ta proton uglerod, azot, yonishi natijasida



protonlarning yadro bilan reaksiyasida alfa

zarraning paydo bo'lishi.

SNO-siklining sxematik ko'rinishi.

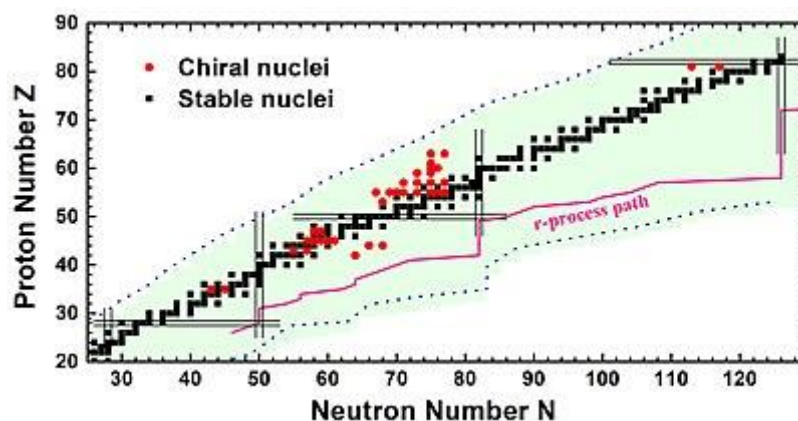


Yulduzlardagi proton-proton reaksiyasi va elektron kamralishi kanallari.

3.3. Og‘ir elementlarning tashkil topishi va tarqalishi

r-jarayon

Ushbu jarayon tez neytronlar qamralishi orqali kechadi va shuning uchun *r*-jarayoni (rapid-tez) deb ataladi. Aslida, *r*-jarayoni bu yadro astrofizikasida temirdan og‘ir elementlar paydo bo‘lishini ta‘minlaydigan yadro reaksiyalarning deyarli yarmidir. Ko‘pchilik hollarda bu jarayon o‘zining jadalligiga erishadi atom og‘irligi $A = 82$ (elements Se, Br and Kr), $A = 130$ (elements Te, I, and Xe) va $A = 196$ (elements Os, Ir and Pt) elementlari uchun.

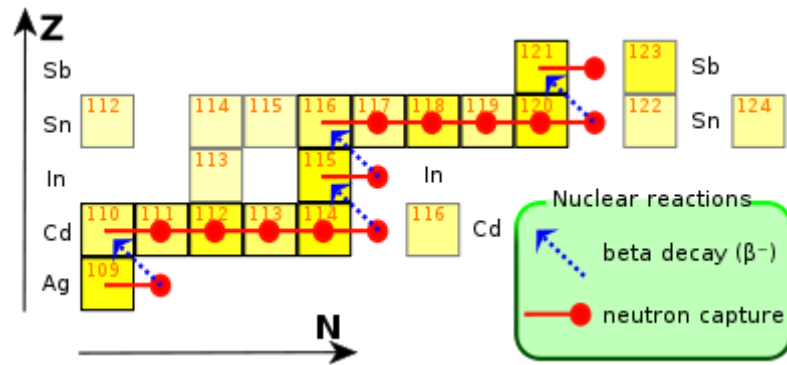


r-jarayonining neytron yulduzlar to‘qnashuvi yoki supernovae portlashida sodir bo‘lishining sxematik ko‘rishinishi. Neytronlar beta yemrilishga qaraganda yadroda tezroq yutiladi.; bu ushbu jarayonning neytronga boy yadrolar hosil bo‘lishiga yordam berishini ko‘rsatadi. Bu yerda kutish nuqtalari sehrlı raqamlari $N = 50, 82, 126$.

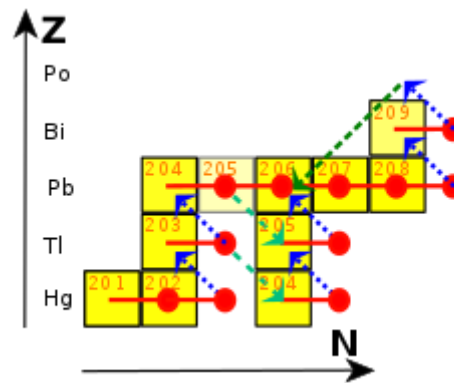
s-jarayon

ushbu jarayon sekin yadro reaksiyalarida neytronlarni qamralishi bilan kechadigan jarayon bo‘lib asosan asimtotik gigant branch yulduzlarda kuzatiladi.

S-jarayon yadrosintez reaksiyalarda temirdan og‘ir elementlarning paydo bo‘lishiga javob beradi.



s-jarayonining Ag dan to Sb gacha kechishi.



s-jarayoni xirgi bosqichining sxemasi. Qizil gorizontol katta nuqtali chiziqlar neytron qamralishga uchrab tugaydi. Ko'k uzuk chiziqlar esa betta parchalanish orqali o'rishni ko'rsatsa, yashillari alfa parchalanish orqali o'tishlar. Havoranglari esa elektron qamralish bilan boradigan reaksiyalarni tasvirlaydi.

3.4. O'ta yangi yulduzlar va turlari

O'ta yangi yulduzlar - yorqinligi keskin o'zgaruvchi (chaqnovchi) yulduzlar. Ularning chaqnashi portlash hisobiga yuz beradi. Portlash tufayli bunday yulduzlar ravshanligi bir necha kun davomida o'nlab mln. marta ortadi. Portlash yuz bergandan keyin 2—3 hafta o'tgach, yulduzlar o'z ravshanligining maksimumiga erishganda ularning mutlaq yulduz kattaligi 11 dan to 19 gacha yetadi, so'ngra bir necha oy davomida yorqinligi 25—30 marta kamayadi. Chaqnash davomida O'ta yangi yulduzlar umumiy nurlanish energiyasi =1048 — 104' erg bo'ladi. Fan nuqtai nazaridan yulduzlarning portlashi ular

evolyusiyasining oxirgi bosqichida vujudga keladigan muvozanatsizlikning oqibati deb qaraladi.

Galaktikada O'ta yangi yulduzlarning chaqnashi bir necha yuz yilda 1—2 marta kuzatilishi mumkin. Astronomlar tomonidan Galaktikamizda ham bir necha O'ta yangi yulduzlarning chaqnashi kuzatilgan. Bular ichida Savr yulduz turkumida 1054 yildan Xitoy astronomlari tomonidan kuzatilgan portlash eng quvvatli hisoblanadi. Bu yulduz bir necha kun davomida, hatto kunduzi ham ko'rinib turgan. 1572 yilda boshqa O'ta yangi yulduzlar daniyalik astronom Tixo Brage tomonidan Kassiopeya yulduz turkumida, 1604 yilda esa Kepler tomonidan Ilon Eltuvchi yulduz turkumida kuzatilgan.

O'tayangiyulduzlarravshanliklarining vaqt bo'yicha o'zgarishtiabiatiwaspektri ga ko'ra ikkiturgabo'linadi. O'ta yangi yulduzlarning 1turi 2turiga nisbatan 5—10 marta ravshan bo'lib, ravshanlikning maksimumiga tez erishadi.

Nazorat savollari:

1. Yulduzlardagi yadro reaksiyalari.
2. Og'ir elementlar qanday paydo bo'ladi?
3. rr zanjiri haqida?
4. Tez va sekin neytronlarining yutilish bilan kechadigan jarayonlarning farqlab bering

4-MAVZU: YULDUZLAR EVOLYUSIYASI

REJA

- 4.1 *Yulduzlar evolyusiyasi: asosiy tushunchalar.*
- 4.2 *Gravitatsion kollaps.*
- 4.3 *Chandrasekar chegarasi.*
- 4.4 *Neytron yulduzlar. Kvazarlar.*

Tayanch iboralar: Yulduzlar temperaturasi, yulduzlar evolyusiyasi, Gersshprung-Rassel diagrammasi, yulduzlar magnit maydoni, o'ta yangi yulduzlar.

4.1 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 xillarinikida esa faqat past ionlanish potensialiga ega atomlar va molekulalar chiziqlari va tasmalari kuzatiladi¹⁸.

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 statsionar 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 nostatsionar yulduzlar deyiladi. Ularni o'rganishga o'tishdan oldin statsionar 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

¹⁸Arnab Rai Choudhuri, *Astrophysics for Physics*, Cambridge University Press, 2010, 471 p.

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 tasma-sini ham ko'rishimiz mumkin. (1-rasm). Galiley ilk bor o'zining teleskopida Somon yo'lining son-sanoqsiz alohida yulduzlardan tashkil topganligini kuzatgan. Qariyb bir yarim asr keyinroq (taxminan 1750 yillarda) Tomas Vrayt hozirda biz Galaktika¹⁹ 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

yo'zida



(a)



(b)

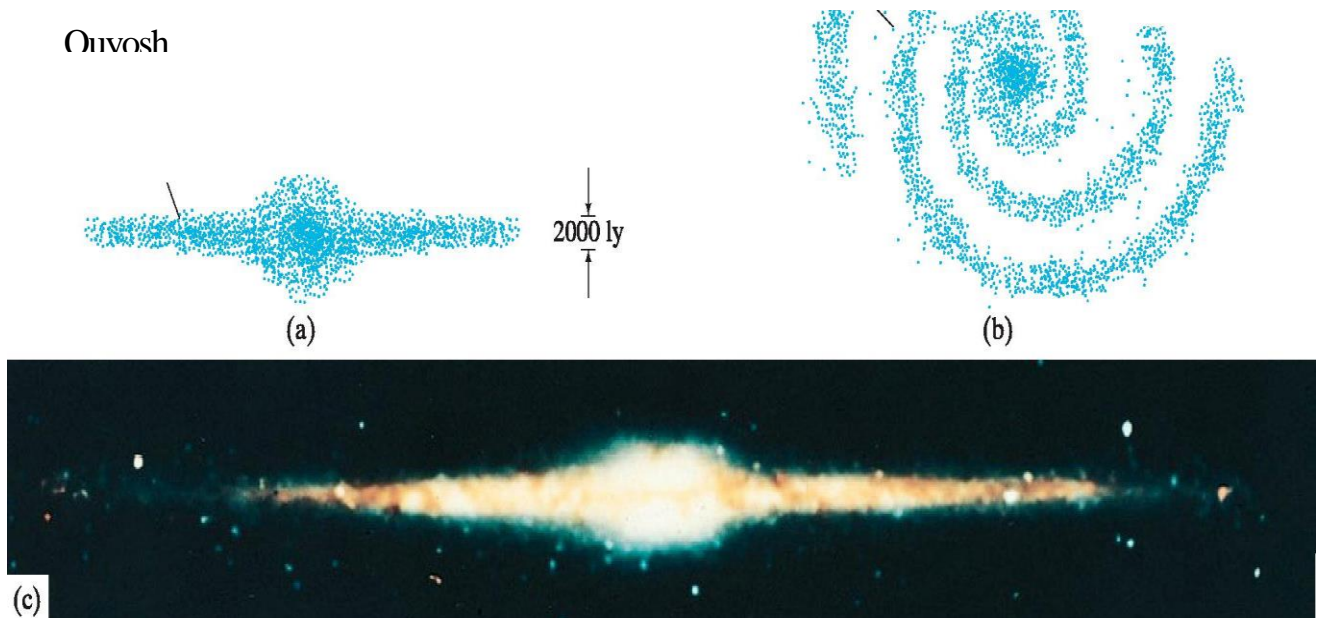
(AQSh) tasvirga

olingan).

¹⁹Galaktika (bosh harf bilan) bu biz joylashgan galaktika, qolganlari kichik harflar bilan keltiriladi

Bizning Galaktikamiz diametri deyarli 100 ming yoy. va disk qalinligi 2000 yoy.ga teng. U yana markaziy doʻnglik va spiral qoʻllariga ega (2-rasm). Quyoshimiz Galaktika markazidan to chekkasigacha boʻlgan masofaning oʻrtalarida joylashgan, bu taxminan markazdan 26000yoy 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 qatʼiy dalil ham borki, Galaktika massiv koʻrinmas “Galo” “qorongʻi materiya” bilan oʻralgan.

Orvosh



2-rasm. Bizning Galaktikamizning tashqi tomondan koʻrinishi: (a) disk tekisligida "yondan koʻrinishi"; (b) "ust koʻrinishi". (Tashqi tomondan koʻrinishi- agar buni iloji boʻlganida huddi shunday koʻringan boʻlar edi!) (c) Somon yoʻli galaktikasi ichkari tomonidan olingan infraqizil tasvir- Galaktika diski va markaziy doʻnglik koʻringan holda. Bu COBE sunʼiy yoʻldoshidan juda katta burchakda, osmonning deyarli 3600 burchakli qismidan olingan tasvir. Oq nuqtalar qoʻshni yulduzlaridir.

Bundan tashqari, agar biz tungi ochiq osmonni teleskop yordamida kuzatsak, Somon Yoʻlining 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 bularni 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 shakiga ega. Immanuel Kant (1755 y.) ularning hira bo‘lib ko‘rinishining sababini bizning Galaktikadan juda olisda joylashganligida deb tushintirgan. Dastlab, bu ob’ektlar Galaktikamizdan tashqaridagi (ekstragalaktik) ob’ektlar ekanligi ishonarli deb tan olinmadi, lekin XX asrga kelib juda katta diametrli teleskoplar barpo etildi va ular yordamida ekstragalaktik ob’ektlar kuzatila boshalandi, hattoki ko‘pgina yulduzlarning boshqa, Galaktikamizdan olisdagi spiralsimon galaktikalardagi aniq joylashgan o‘rinlari va boshqa xususiyatlari aniqlandi. Yedvin Habb1 (1889-1953) 1920 yillarda Los Angeles va Kaliforniya yaqinidagi Vilson tog‘ida joylashgan 2.5m li teleskop yordamida ko‘pgina kuzatuvlar olib bordi. Habb1 ushbu ob’ektlar 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 Virlyul galaktikasi, (c) (b)dagi galaktikaning infraqizil tashviri ("yasama" ranglarda berilgan), bu Yerdagi spiral galaktikaning (b) rasmda ko‘rinmay qolgan yengllari ham ko‘rsatilgan; har hil ranglar har hil intensivliklarga to‘g‘ri keladi. Ko‘rinuvchi nurlar galaktikalararo “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’ektlar 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 (“kvaziylulduz” yoki “yulduzga o‘xshash ob’ektlar”). 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‘taylik²⁰.

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 $L=4\pi r^2 \cdot Y_e$ -yulduzning yorqinligi, Y_e -yulduz nuri masalan, Yerga osil qilayotgan yoritilganlik, r -yulduzning Yerga uzoqligi. $L=4\pi R^2 \cdot \sigma T_e^b$ - radiusi (R) yulduznikidek bo‘lgan absolyut qora jismni yorqinligi, T_e -uning temperaturasi. Ularni tenglashtirib temperaturani topamiz

²⁰James B. Hartle, Gravity: An Introduction to Einstein’s General Relativity, Pearson Education Ltd., 2013, 554 p.

$T_e = 642.3 \sqrt[4]{\frac{E}{\sigma \theta^2}}$; $\theta = 206265 \frac{2R}{r}$ yulduzning burchakiy sekundlarda ifodalangan diametri. Shunday munosabatni Quyosh uchun ham yozish mumkin. Quyoshning $T_e = 5700^\circ$ va $m_b = -26^m.85$ ligini hisobga olsak, u holda m_b - bolometrik yulduziy kattalikka ega yulduzning effektiv temperaturasi

$$\lg T_e = 2.718 - 0.1 m_b - 0.5 \lg \theta$$

formula yordamida hisoblanishi 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_e) orasidagi boglanishni ifodalaydi va undan foydalanib $T_p = \frac{0.29}{\lambda_{\max}} K$ ni topamiz; bu yerda λ_{\max} - spektrda intensivlik $I_\lambda(T)$ maksimumi to'g'ri keladigan to'liq uzunlik, sm larda. Bu usulni qizil yulduzlarga qo'llash mumkin. T_e -rang temperaturasi.

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

$$T_p = \frac{7920}{(B - V) + 0^m.72}$$

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 temperaturasiga (T) bog'liq.

$$\frac{N_n}{N_1} = \frac{g_n}{g_1} e^{-\frac{\chi_1 - \chi_n}{kT}}. \quad \text{Bolsman formulasi}$$

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 bu'ladi va yulduz atmosferasining temperaturasini 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 unutmash kerak. Temperatura yulduzning ichki qatlamlarida bundan yuqori bo'ladi.

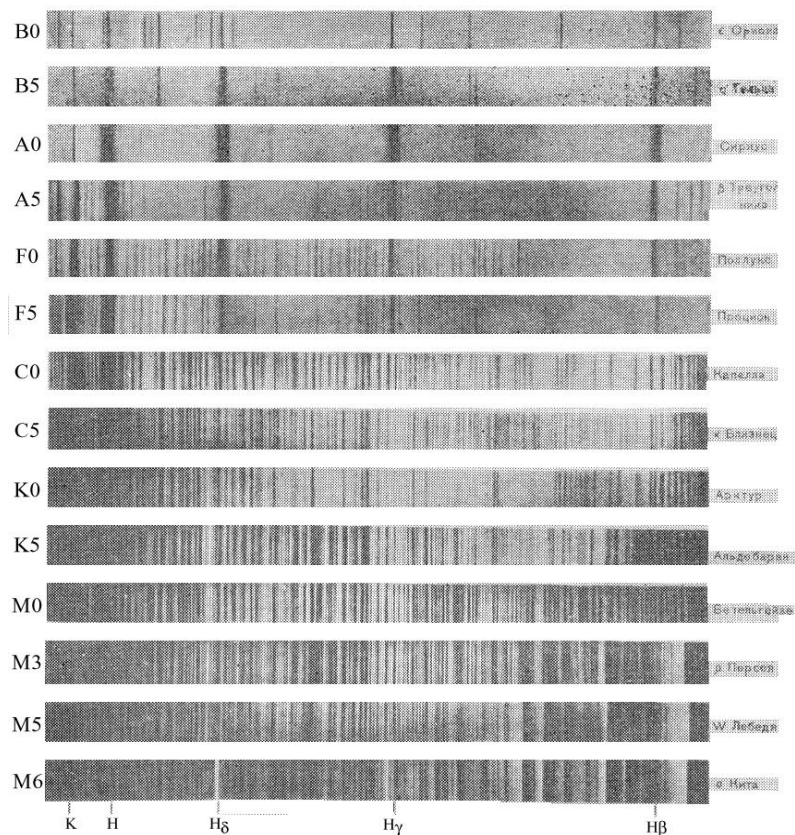
Yorqinlik temperatura (T) ning to'rtinchi darajasiga bog'liqligini xisobga olsak, yuqorida topilgan yulduzlarning yuza temperaturalar farqi ularning yorqinliklarini $2.5 \cdot 10^5$ marta o'zgarishini ta'minlaydi. Demak L ni o'zgarish diapazoni (10^{12})ni qoplash uchun R ni o'zgarish diapazoni 10^5 martadan kam bo'lmasligi zarur.

Yulduzlar spektri. Spektral sinflashtirish. Ko'plab stasionar yulduzlar spektrini tahlil qilib, ulardagi chiziqlar to'lqin 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 ($N_\alpha, N_\beta, N_\gamma, N_\delta$) va geliy ($\lambda\lambda$ 5875 Å, 6678 Å) va keyin metal ionlari (N va K Sa II) atomlari (D_1, D_2, Na), molekulalar 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, A, F, G^c , K, M^s , (L, T). Bu harflar ketma-ketligini eslab qolish uchun garvard universiteti talabalar shunday hazil o'ylab topishgan: Oh, BeAFineGirlKissMe²¹.

O-sinfga mansub yulduzlar spektrida geliyoni (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 spektri d 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 atomic hiziqlari (N α λ 6563 Å, N β λ 4861 Å, H γ λ 4340 Å) kuzatiladi.



Rasm- 6. Xar spektral sinfga mansub yulduzlarning sinfi

²¹Arnab Rai Choudhuri, *Astrophysics for Physics*, Cambridge University Press, 2010, 471 p.

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 iakozo eng intensiv, gely chiziqlari yo‘qolgan.

F- intensiv vodorod Sirius (αCM) chiziqlari N_{α} , N_{β} . . . bilan birgalikda metall ionlari ($\text{SaII}\lambda\lambda 3934 \text{ \AA}$, 3956 \AA) chiziqlari ko‘rinadi. Protsion (αCMi) misol bo‘laoladi.

G- asosiy chiziqlar metallar (Na, Mg, Fe, Ca)niki vodorod chiziqlari ham ko‘rinadi, biroq ancha xiralashgan. Quyosh G-sinfga mansub.

K-kalsiyioni (SaII) chiziqlari va metallar chiziqlari ($\text{Gtasma}\lambda 4305 \text{ \AA}$ da $\lambda 4315 \text{ \AA}$) yaqqol ko‘rinadi, molekular (T_iO) chiziqlari va tasmalari ko‘rina boshlaydi. Aldebaran (Savrning α -si, αTau) misol bo‘laoladi.

M-molekulalar (T_i , O_1 , S_2 , SN) tasmalar va chiziqlar orasida Ti O tasmalari ajralib turadi. Betelgeyze (Orionning α -si, αOri) misol bo‘laoladi.

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

T-sinfga kiradigan yulduzlar spektrida metan (NH_4) va ishqor metallar chiziqlari ko‘rinadi.

Oxirgi ikkita sinf (L, T) yaqinda (2000 y.) kashf etildi. Gdan boshlangan S-sinf spektrida uglerod (S_2 , SN) molekulari 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‘rinadi²².

Yulduzlarning fizik ko‘rsatkichlarini 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 hakoza.

b) Garvard spektral sinflashtirishning fizik asoslari.

Spektral sinflardagi chiziqlar turli tumanligi yulduzlarning kimyoviy tarkibi

²²James B. Hartle, Gravity: An Introduction to Einstein’s General Relativity, Pearson Education Ltd., 2013, 554 p.

har xil ekan degan hulosa 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 ($\chi = 10 \text{ ev}$) 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 $N_\alpha, N_\beta, N_\gamma, N_\delta$ –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 $\chi > 20 \text{ ev}$, ya'ni vodorodnikidan ikki marta katta, demak geliy atomi chiziqlari hosil bo'lishi uchun $T \approx 20 \cdot 10^3$ 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 ($4500\text{-}3500 \text{ K}$) 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

	O5	V0	A0	G'0	G0	K0	M0	L	T
T_e	40 000	28 000	9900	7400	6030	4900	3480	1700	1300
V- U	-0.33	-0.31	0.00	0.27	0.57	0.89	1.45	(3)	(5)

v) Gersshprung-Rassel diagrammasi

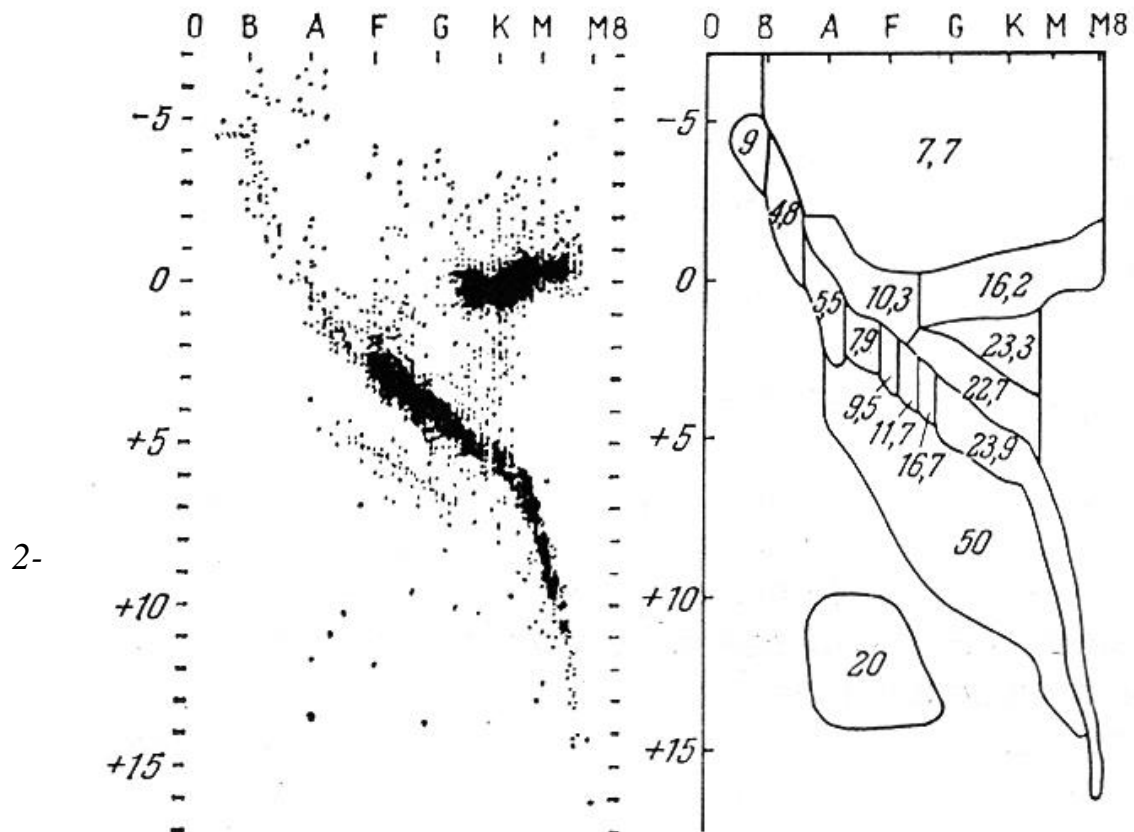
XX asr boshlarigacha bir necha yuz yulduzni uzoqligi (yillik parallaksi) o'lchanadi va absolyut kattaligi (M) hisoblab topiladi. Shu paytga kelib ularning spektral sinflari ham aniqlanadi. 1905 – 1913 yillarda daniyalik E. Gersshprung (1873-1967) va amerikalik G. N. Rassel (1877-1957) birbirigabog'liqbo'lmagan holda yulduzlardagi diagrammasini tuzadilar.

Ular ordinata o'qibo'yul yulduzlarni absolyut kattaliklari absissa o'qibo'yul bespektral sinflarini qo'yadilar.

Bunday diagramma har bir yulduz bittan uqtasifatida o'rininga tayyorlanadi. “Gersshprung-Rassel diagramma” sinomi bilan fanga kirgan, bu diagramma rasmda tasvirlangan²³.

²³Arnab Rai Choudhuri, *Astrophysics for Physics*, Cambridge University Press, 2010, 471 p.

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.



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

Diagrammani pastki chap yarim qismida qaynoq biroq shunday temperaturadagi 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) aylanadilar²⁴.

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

4.2 Gravitatsion kollaps

²⁴ Бочкарев Н.Г.б Магнитные поля в космосе, М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2011. – 216 с.

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 $M_V = -8 \div -14^m$ 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 $M_V = -6 \div -7^m$ oraliqda, yorug‘ligini o‘zgarish amplitudasi $A = 9.2^m$. Yangilar boshqa galaktikalarda ham kuzatiladi²⁵. 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:

$$M_{V,max} = -11.75^m + 2.5 \lg t_3.$$

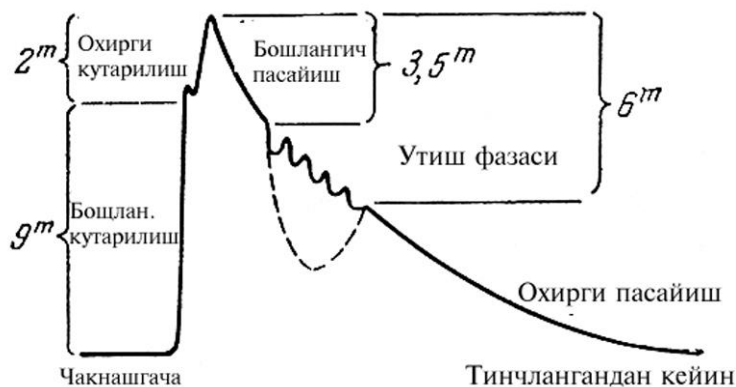
1975 y. Oqqushda kuzatilgan yangi uchun $t_3 = 4.1^d$ va $M_{V,max} = -10.2^m$. Ko‘pchilik observatoriyalar ishtirokida o‘tkaziladigan maxsus kuzatishlarda Andromeda

²⁵Max Camenzind, Compact Objects in Astrophysics, Springer, 2007, 682 p.

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 1976 y.da chaqnagan NQVal yangining IQ ($\lambda=3.2$ 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'liqlik tomoniga absorbsion (yutilish) chiziqlar yopishib turgan ko'plab emission polosa (tasma)lar paydo bo'ladi. Absorbtsion 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,

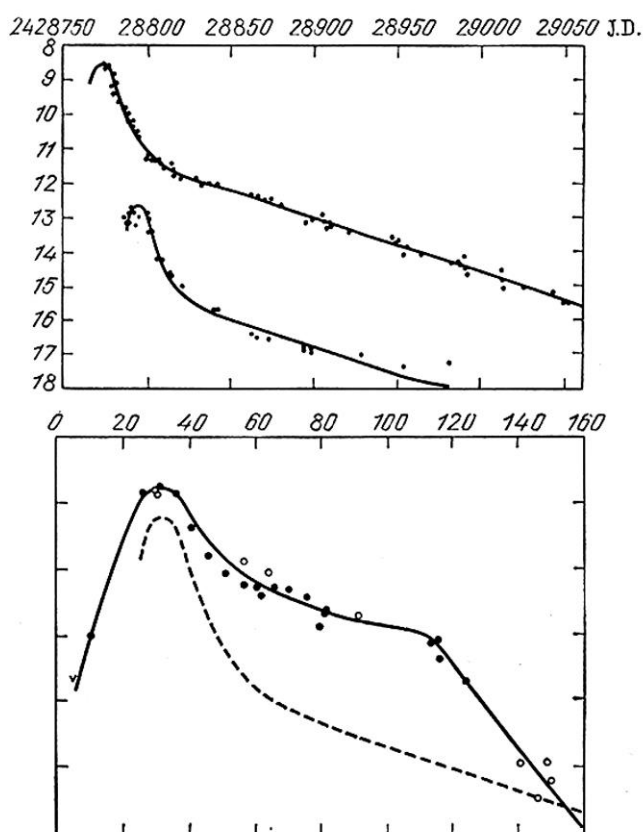
TiII, OI va Ci absorbsion chiziqlari kuzatiladi. Bu yangining bosh yutilish spektridir. Bulardan tashqari spektrda ta'qiqlangan chiziqlar [OI] $\lambda\lambda 5577, 6300, 6363$, [NII] $\lambda 5755$ shuningdek kuchaygan HeI $\lambda 5876$ chiziq kurinadi. Bosh spektr-diffuz-chaqmoq spektrga aylanadi (chiziqlar keng, yoyiq $v_N 1500$ 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. Bundan birnecha hafta keyin yulduz yorug'ligi oldingi umumiy pasayish darajasigacha ko'tariladi va yangini so'nishi davom etadi. Spektrda yutilish chiziqlari yo'qoladi, faqat keng emission chiziqlar qoladi. Yangi bu fazasi nebulyar (tumanlikka o'xshash) faza deb ataladi va u yangi chaqnashdan avvaligi darajaga tushguncha davom etadi.

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 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: $m=(0.87 \pm 0.33)m_{\odot}$

b) O'tayangi (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) sochiladi²⁶.



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 va SNII. SNI-maksimumi tez (bir hafta) o'tadi va undan keyingi 25 kun ichida

²⁶T. Padmanabhan, Theoretical Astrophysics, Volume II, Cambridge University Press, 2010.

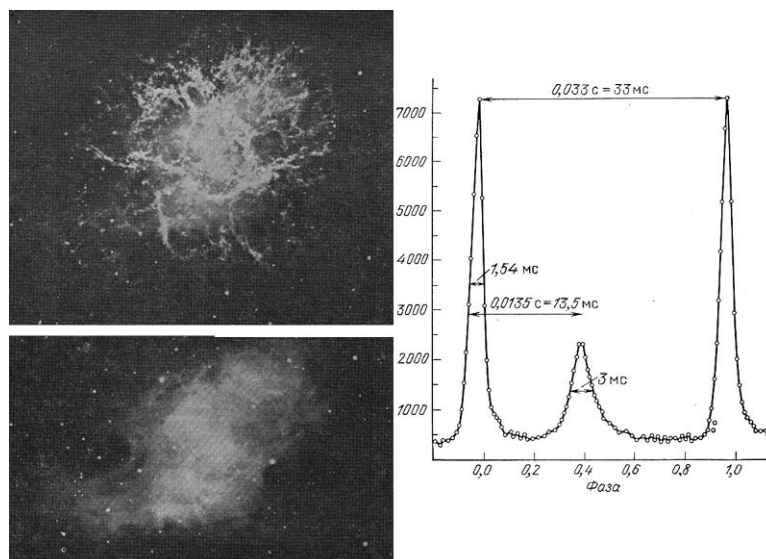
yorug‘ligi kuniga 0.1^m dan kamaya boradi. Shundan keyin yorug‘ligini pasayishi sekinlashadi (4 rasm) va shu tarzda to yulduz qayd qilib bo‘lmaydigan darajagacha xiralashguncha bir xil surat kuniga (0.014^m dan) bilan so‘nadi. SN ni yorug‘ligi eksponensial tarzda 55 kunda ikki marta kamaya boradi. Savr 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 $M_{Pg}=-19^m$, yorug‘ligini o‘zgarish amplitudasi $A=-20^m$.

SNII-ning yorqinligi pastroq: maksimumda $M_{Pg}=-17^m$, (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‘lqinli tomoniga yutilish chizig‘i yopishib turgan keng emission tasmalardan iborat. Vodorod chiziqlari intensiv. SNI-vodorodi yonib tugagan yulduzlardir. SNII-esa yosh yulduzlardir²⁷.

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.

²⁷Arnab 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 impulslar tariqasida nurlanish sochadi. Impulslar 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).

4.3 Chandrasekar chegarasi

Yulduzlarning fizik xarakteristikalarini, ichki tuzilishini va kimyoviy tarkibini vaqt bo'yicha o'zgarishi yulduzni evolyusiyasi yoki rivojlanish jarayonida o'zgarishi deb ataladi. Statsionar holatdagi yulduz bu gidrostatik (gravitatsion 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 manbahi isobiga to'ldirib turuvchi gidrostatik muvozanatdagi ob'ektning hosil bo'lishidir. Yulduzni «o'lishi» bu tiklanmaydigan muvozanatni buzilishi yoki

uni halokatli holatda siqilishidir²⁸.

Yulduz sirtidan energiya sochilishi uning ichki qatlamlarini sovishi, uni siqilishi natijasida ajralib chiqayotgan gravitatsion potensial energiya yoki yadro reaksiyalar hisobiga ro‘y berishi mumkin. Sovish va gravitatsion 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, harxil 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.

a) yulduzlarni hosil bo‘lishida gravitatsion 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 Reley-Teylor noturg‘unligi tufayli ro‘y bersa ikkinchisiga zich bulut moddasini kosmik va rentgen nurlar tomonidan ionlantirish natijasida ro‘y bergan issiqlik

²⁸Arnab Rai Choudhuri, *Astrophysics for Physics*, Cambridge University Press, 2010, 471 p.

noturg'unligi sabab bo'ladir. ²aqiqatdan massasi $M = (10^5 - 10^6) M_{\odot}$ (M_{\odot} - 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 gravitatsion 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

$$M > M_j \cong 150 T^{2/3} n^{-1/2} M_{\odot},$$

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 $M > 10^3 M_{\odot}$ bo'lishi kerak²⁹.

Jins kriteriyasiga ko'ra massasi hozir ma'lum bo'lgan oraliqdagi (0.01 – 100 M_{\odot}) 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'da holda paydo bo'ladi, degan xulosa qilishga imkon beradi.

Keyinchalik kollaps natijasida yulduzga aylanadigan ob'ekt (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 gradienti yo'q va siqilish erkin tushish sifatida boshlanadi. Siqilish boshlangandanoq bulutda tovush tezligida

²⁹Max Camenzind, Compact Objects in Astrophysics, Springer, 2007, 682 p.

uning markazga tomon tarqaladigan siyraklashish to'liqini 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'tarilaboshlaydi va bu bosimni ko'tarilishiga olib keladi va o'zak gidrostatik muvozanatga o'tadi. Qobuq moddasi o'zakka tushishini davom etadi va o'zak chetida zarb to'liqini hosil bo'ladi. Bu paytda o'zak parametrlari protoyulduz massasiga kam bog'liq va uning massasi, radiusi, zichligi, va temperaturasi quyidagicha

$$M_{o'} = 5 \cdot 10^{-3} M_{\odot}, r_{o'} = 100 R_{\odot}, \rho = 2 \cdot 10^{-10} \text{ g/sm}^3, T = 200 \text{ K.}$$

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 siqiladi (kollaps) va uning parametrlari endi quyidagicha

$$M_{o'} = 5 \cdot 10^{-3} M_{\odot}, r_{o'} = 1 R_{\odot}, \rho = 2 \cdot 10^{-2} \text{ g/sm}^3, T = 2 \cdot 10^4 \text{ K.}$$

Qobug'dan o'zakka modda akkresiyasi 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 tasirida 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'ekt sifatida kuzatiladi. Ayrim massiv yulduzlarda qobug' o'zakda yadro reaksiyalari boshlanguncha qoladi. Protoyulduz kollapsi $10^5 - 10^6$ yil davom etadi. o'zak tomonidan yoritilayotgan qobug' qoldiqlari yulduz shamoli tasirida tezlatiladi. Bunday ob'ektlar 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.

b) 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‘xtataolmaydi. Yulduz markazida temperatura $\cong 10^7$ K ga yetganda va vodorodni yonishi boshlanganda uni gravitatsion 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	Dovomiyligi, yulduz yoshi foizlarida
H	He	$(1-3) \cdot 10^7$	$7 \cdot 10^{18}$	fotonlar	$\cong 90 \%$
He	C, O	$2 \cdot 10^8$	$7 \cdot 10^{17}$	fotonlar	≤ 10
C	Ne, Na,	$1 \cdot 10^9$	$5 \cdot 10^{17}$	neytrino	< 1
Ne	Mg	$1.3 \cdot 10^9$	$1 \cdot 10^{17}$	neytrino	< 1
O	O, Mg	$1.8 \cdot 10^9$	$5 \cdot 10^{17}$	neytrino	< 1
Si	Si ÷ Ca	$3.4 \cdot 10^9$	$3.4 \cdot 10^{17}$	neytrino	< 1
	Sc ÷ Ni				
Yadroviy yoqilg‘i	Yonish mahsuloti	Yonish temperaturasi, K	Energiya chiqarish, erg/g	Energiyani olib ketuvchi zarra	Dovomiyligi, yulduz yoshi foizlarida

Temperatura $\leq 18 \cdot 10^6$ 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 $M \cong 1 M_{\odot}$ bir quyosh massasiga teng yulduzlarda 10^{10} yil, $M \cong 50 M_{\odot}$ - yulduzlarda $3 \cdot 10^6$ yil. Jadvaldan ko'rinib turipti, 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 molekular 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. $M \cong 15 M_{\odot}$ yulduzlarni BKK da bo'lish vaqti 10 mln yil, $M \cong 5 M_{\odot}$ larniki - 70 mln yil va $M \cong 1 M_{\odot}$ larniki 10 mliard yil.

v) yulduz evolyusiyasining oxirgi bosqichi. Massasi $M > 5 M_{\odot}$ bo'lgan yulduzlarning markaziy qisimlarida 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 gravitatsion kollaps ro'y beradi. Kollaps natijasida zichlik 10^{12} g/sm^3 ga yetadi va modda neytrallashadi³⁰. Agar $M < 2 M_{\odot}$ bo'lsa aynigan gaz va $\gamma = 5/3$ 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).

4.4 Neytron yulduzlar. Kvazarlar

Qora tuynuklar – bu fazo-vaqtning shunday soxasiki, kuchli gravitatsion 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 gravitatsion radius deyiladi.

³⁰T. Padmanabhan, Theoretical Astrophysics, Volume II, Cambridge University Press, 2010.

Eng sodda holda – sferik-simmetrik qora tuynuklar uchun ushbu o‘lcham Shvarsschild radiusiga teng. Nazariy jixatdan bunday ob’ektlarning mavjudligi Eynshteyn tenglamalarining ba’zi aniq yechimlari tomonidan kelib chiqadi. Bunday yechimlarning birinchisi Karl Shvarsschild tomonidan 1915 yili topilgan³¹.

Zamonaviy fan bizgaso‘nunchi 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 sochib parlanadi va o‘ladi. Yulduz o‘zining dastlabki bosqichlarida hosil bo‘lgan vodoroddan, keyin bosqichlarda geliydan va nihoyat og‘ir elemenlardan iborat ichki yonilg‘isi xisobiga yorug‘lik sochadi. Har bir yulduz o‘zining markazga tortuvchi gravitatsiyasi va unga qarama qarshi yo‘nalishlardagi ichki bosim kuchlari bilan muvozanatga ega. Bu muvozanat yonilg‘i temirga aylanadigan vaqtgacha saqlanadi. Gravitatsiya bosim kuchlaridan kattalashadi va yulduz siqila boshlaydi.

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 sochib 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 xozirda o‘zining aktiv bosqichida bo‘lgan Quyoshdir va uning yonilg‘i zahirasi yana 5 milliard yilga yetadi³². 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‘htab oq mittiga aylanadi. Massasi

³¹James B. Hartle, Gravity: An Introduction to Einstein’s General Relativity, Pearson Education Ltd., 2013, 554 p.

³²Arnab Rai Choudhuri, Astrophysics for Physics, Cambridge University Press, 2010, 471 p.

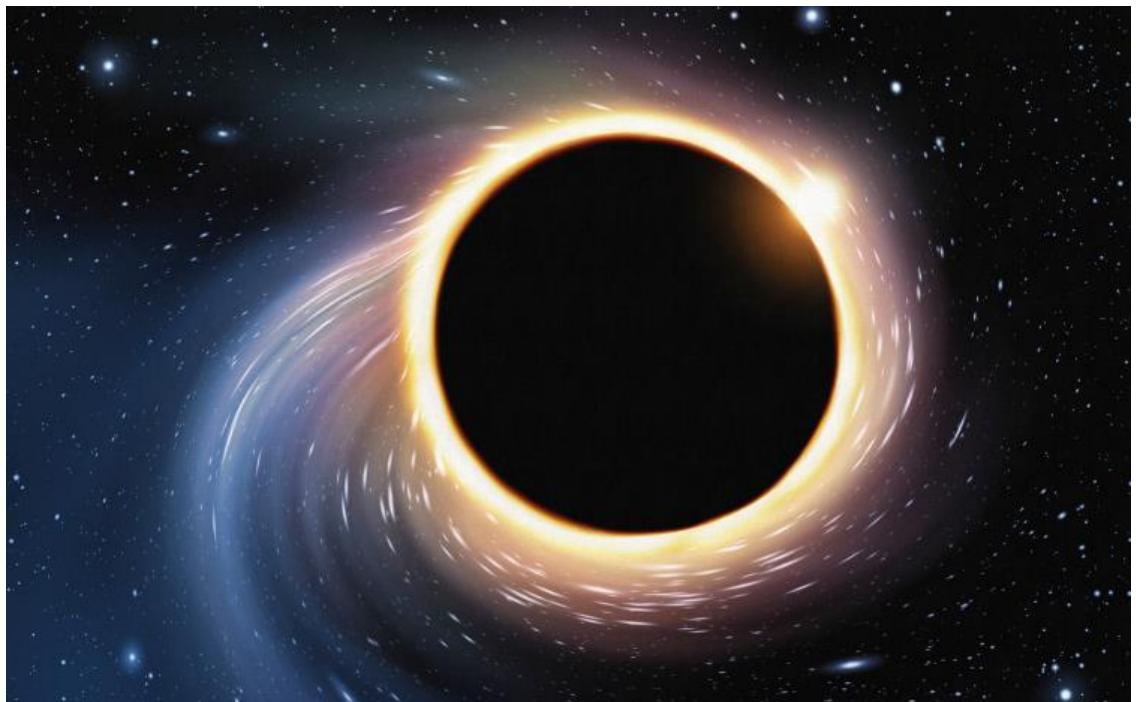
Quyosh massasidan 3-5 marta katta bo'lgan Yulduzlar o'z umrini boshqachaneutron yulduzlarga aylangan holda yakunlaydi, bunda gravitatsiya shunday kuchliki elektronlarni atom yadrosiga joylashtiradi. Endi ichki bosim kuchi elektron gaz bosimi emas balki neytronlar bosimi xisobiga gravitatsiya kuchlarini 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 hoida bir kecha million yillar yashab sovuq qora mittiga, ya'ni haqiqiy kosmik o'lik jism- yulduzning murdasiga 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 kuzatiladi³³. Bu Xitoy va Yapon tarixida aytib o'tilgan 1054 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

³³Max Camenzind, *Compact Objects in Astrophysics*, Springer, 2007, 682 p.

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 gravitatsion kollapsga termodinamik bosim hisobidan qarshilik ko'rsatadi. Oq mittilar gravitatsion 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'ektlar Koinotning yoshi tartibidagi davrda turg'un ob'ektlar hisoblanadi. Ularni yulduzlarning eng oxirgi bosqichidagi ob'ekt deb hisoblash mumkin. Ikkinchi farqi- oddiy o'zlarining massasi tartibidagi yulduzlarning o'lchamlariga nisbatan ancha kichikligidir³⁴.

Bu uchala yulduzlarning oxirgi bosqichidagi ob'ektlardan 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 keladi³⁵.

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

³⁴L. Rezzolla, O. Zanotti, *Relativistic Hydrodynamics*, Oxford University Press, 2013, 752 p.

³⁵T. Padmanabhan, *Theoretical Astrophysics, Volume I-III*, Cambridge University Press, 2010.

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 urganilgan³⁶. 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 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 gravitatsion 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'ektlardan biri. Ma'lumki, qora tuynuk fazo-vaqt sohasi deyiladi, gravitatsiya

³⁶Бочкарев Н.Г.Б Магнитные поля в космосе, М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2011. – 216 с.

maydoni shunchalik kuchliki, hattoki yorug'lik ham bu sohani tashlab chiqib keta olmaydi. Bu jism o'lchami uzining gravitatsion o'lchamidan kichik bo'lganda sodir bo'ladi. Gravitatsion radius Quyosh uchun 3km, Yer uchun esa 9mm 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 degani³⁷.

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 kafedra a'zosi Stiven Xokingni ta'kidlab o'tish joiz. Uning izlanishlarining asosiy ob'ekti 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 qo'l barmoqlari harakati saqlab qolingan va oxirgi 30 yil davomida

³⁷James B. Hartle, Gravity: An Introduction to Einstein's General Relativity, Pearson Education Ltd., 2013, 554 p.

gapirishdan ham mahrum bo'lgan. U atrofida 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 kerak³⁸. 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 gravitatsion, 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'ekt 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.

Xoking xisolashlaridan yana shuni ko'rish mumkin: agar qora tuynuk to'liq nurlanib ketsa, uning holati to'g'risida ma'lumot uzoqdagi kuzatuvchi uchun butunlay yo'qoladi. Bu klassik nazariya doirasida to'g'ri. Boshqa tomndanqora tuynukning "bug'lanishi" xisobidan yo'qotilgan axborot kvant mexanikasining axborot mavjudligining to'g'risidagi unitarlik tamoyiliga zid va uni aniqlash qiyin.

³⁸T. Padmanabhan, *Theoretical Astrophysics, Volume I-III*, Cambridge University Press, 2010.

Faraz qilaylik, bizda ikkita o'ng qizil paypoq va chap ko'k paypoq bor. Agar biz chap ko'k paypoqni qora tuynukga tashlasak va kimdir o'ng qizil paypoqni juftisiz topib olsa va u o'ylaydiki chap qizil paypoqni qora tuynukga tashlagan deb taxmin qiladi ya'ni modomiki hech qanday axborot qora tuynukdan chiqib ketolmas ekan uzoqdagi kuzatuvchi uning ichida nima borligini bila olmaydi³⁹.

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'qoladi⁴⁰.

Hulosa o'rnida shuni takidlash joizki, qora tuynuklar– o'zida ko'plab sinoat yashirib kelayotgan Koinotning jumboqli ob'ektlaridir. 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.
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.

³⁹L. Rezzolla, O. Zanotti, *Relativistic Hydrodynamics*, Oxford University Press, 2013, 752 p.

⁴⁰Max Camenzind, *Compact Objects in Astrophysics*, Springer, 2007, 682 p.

5-MAVZU: KOINOTNING YIRIK MASSHTABDAGI STRUKTURASI (2 soat).

REJA

- 5.1. Zamonaviy kosmologiya: asosiy tushunchalar.*
- 5.2. Zamonaviy kosmologiyadagi muammoalar.*
- 5.3. Koinotning yirik masshtabdagi strukturasi.*
- 5.4. Koinotdagi galaktikalar filamen orqali taqsimlanishi.*

Tayanch iboralar: Kosmologiya, galaktikalar klasteri, Somon yo‘li, maxalliy gurux, qo‘shaloq tizimlar.

5.1 Zamonaviy kosmologiya: asosiy tushunchalar. Olamning yirik masshtabdagi tuzulishi – galaktikalar va ularning tizimlaridan iborat turli fazoviy masshtablardagi ulkan yulduzli orollardan iborat tarkib. **KYMTni** o‘rganish zamonaviy g‘oyalar galaktikalarning alohida tizimlarini o‘rganishga va bizdan turli masofalarda ularning osmonda taqsimlanishini statistik o‘rganishlargaga asoslanadi. **KYMTning** mavjudligi Olamda yuz millionlab yorug‘lik yillari miqyosiga qadar materiyaning tarqalishining bir jinsli emasligini aks ettiradi. **KYMTni** o‘rganish kengayib borayotgan Koinotdagi galaktikalar va galaktika klasterlarining paydo bo‘lish jarayonlari va ularning keyingi evolyusiyasini tushunish uchun zarurdir.

Hatto, astronomik ob‘ektlar va ularning kosmosdagi o‘rni bilan yuzaki tanishish ham kosmik jismlarning turli miqyosdagi tizimlarga mansub ekanligini ko‘rsatadi.

KUZATILADIGAN KOINOT TARKIBLARINING ASOSIY ELEMENTLARI.

Barcha sayyoralar (Quyoshga eng yaqin ikkitasidan tashqari) sun‘iy yo‘ldoshlar bilan o‘ralgan va ular bilan birgalikda Quyosh atrofida aylanib, Quyosh tizimini hosil qiladi. Boshqa ko‘plab yulduzlar atrofida ham sayyoralar

borligi topilgan. Kuzatilgan yulduzlarning yarmidan ko'pi yulduz juftlari yoki bir nechta yulduz tizimlaridir (Quyosh bu jihatdan o'ziga hos yulduz, chunki u yolg'izdir). Yulduzlar ham klasterlar hosil qiladi. E'tiborli kuzatuvchi ularni osmonda oddiy ko'z bilan yoki durbin yordamida ham topishi mumkin, teleskoplar esa bizdan turli masofalarda joylashgan yuzlab yulduzlar klasterlarini tutib olishi mumkin.

Koinotda kuzatiladigan barcha yulduzlar to'plami – Galaktikalar tizimini tashkil etadi. Lekin buni anglash astronomlarga oson bo'lmadi. Yulduzlar qanchalik hiralashsa ulargacha bo'lgan masofa kattalashadi, ular Somon yo'li tekisligiga qarab shunchalik ko'p konsentratsiya qilishadiki, ularni bir-biridan ajratish mushkullashib ketadi. Shuning uchun, yulduzlar to'plamini yassi shakldagi disk degan fikr ancha ishonchlidir. Ammo Galaktikaning shakli qanday, u cheksizlikgacha cho'zilib ketadimi yoki o'z chegarasiga egami va unda Quyoshning o'rni qandaysmdegan savollar paydo bo'ladi? Ushbu muammoni hal qilish uchun birinchi ilmiy urinish 18-asrda qilingan. Bulardan eng ko'zga ko'ringani, tarixga ko'plab fundamental kashfiyotlarning muallifi sifatida kirgan ingliz astronomi Uilyam Gersheldir. Masalan, U Uran sayyorasini kashf etdi, birinchi bo'lib Quyosh tizimining kosmosda harakatlanishini isbotladi va ko'zga ko'rinmas (infraqizil) nurlarning mavjudligini kashf etdi. Yulduzlar dunyosining tuzilishini o'rganish uchun u osmonning tanlangan mintaqalarida har xil yorqinlikdagi yulduzlarni sinchkovlik bilan hisoblashlariga asoslangan o'ziga xos uslubni (yulduzlar statistikasi usuli) taklif qildi va uni o'zi yaratgan teleskoplar yordamida amalga oshirdi. Gershel bizning yulduzlar dunyomizning cheklanganligihaqida hulosaga keldi va yulduzlar sistemasining o'lchamlarini katta hatlik bilan bo'lsada o'lchashga harakat qildi. Shunisi e'tiborga loyiqlik, Gershel davrida hatto eng yaqin yulduzlargacha bo'lgan masofalar ham ma'lum emas edi. Shu bilan birga, Gershel koinotdagi ko'p sonli yulduz orollari - galaktikalar mavjudligiga amin edi, garchi bu taxmin 20-asrning 20-yillarida o'z isbotini topgan bo'lsada.

Galaktikalar haqiqatan ham koinotning asosiy "qurilish bloklari" bo'lib

chiqdi, aynan shu narsalarda tabiatda mavjud bo'lgan barcha yulduzlarning aksariyati va yulduzlararo gazning katta massasi to'plangan. Zamonaviy yirik teleskoplar bizdan 10-12 milliard yorug'lik yili masofasida joylashgan va osmonga tarqalgan ko'plab yuz millionlab galaktikalarni kuzatish imkoniyatiga ega.

Galaktikalar osmonda yulduzlar singari notekis taqsimlanganligi, ularning fizik tabiati aniqlanishidan oldinma'lum bo'olgan. Kichik teleskoplar bilan olib borilgan kuzatishlar osmonning ba'zi joylarida juda ko'p tumanliklar borligini (galaktikalar teleskop okulyari orqali shunday ko'rinishini) va ba'zi joylarda esa deyarli yo'q degan xulosaga kelishdi. Tumanli dog'larning to'planish tendensiyasini Gershel qayd etdi. To'g'ri, osmonda kuzatilgan galaktikalarning tarqalishi nafaqat ularning fazoviy klasterlanishining o'ziga xos xususiyati, balki Somon yo'li sohilida yulduzlararo chang uzoq ob'ektlarning nurini kuchli singdirishi bilan ham bog'liq, bu narsa 20-asrga kelib aniqlandi. Ma'lumki yulduzlararo bo'shliqning xiralashganligi tufayli u yerda galaktikalar deyarli yo'q. Ammo Somon Yo'lidan uzoqroq yutilish kam, lekin kuzatilgan galaktikalar baribir notekis taqsimlangan. Shunday qilib, juda katta miqdordagi nisbatan yorqin galaktikalar (10-13 yulduz kattalikdagi) Farishta yulduz turkumida katta klasterni tashkil etadi.

5.2 Zamonaviy kosmologiyadagi muammoalar

QO'SHALOQ YULDUZLAR, GURUHLAR VA GALAKTIKALAR KLAUSTERLARI FIZIK BOG'LANGAN TIZIM SIFATIDA.

Bizning Galaktikamizdagi ko'plab yulduzlar juftlashgan va bir nechta tizimlarni, hatto butun yulduzlar klasterlarini hosil qilganligibizgama'lum. Huddi shu narsa galaktikalarga ham taalluqli bo'lishi ajablanarli emas. Vaqt o'tishi bilan astronomlar bitta galaktikani topish bitta yulduzni topishdan ham qiyinroq ekanligiga amin bo'lishdi. Bir necha o'n mingdan, bir necha o'n millionlab yorug'lik yillariga qadar bo'lgan turli xil qismlargaega bo'lgan alohida galaktika tizimlari topilgan.

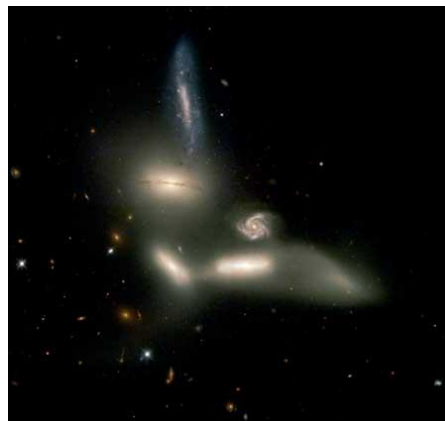
Galaktikalar tomonidan hosil qilingan eng kichik tizimlar bir-biriga

o'xshash yorqinlikdagi bir nechta qismlarni o'z ichiga olgan ikkilik va ko'p tizimlar bo'lib, undan keyin bir necha o'nlab a'zoldardan iborat galaktikalar guruhlari va nihoyat, yuzlab va minglab alohida yulduz orollarini birlashtirgan galaktikalar klasterlaridir. Siyrak gazlangan muhit ham galaktikalar bilan bir qatorda konsentratsiyalangan. U ushbu tizimlarning shakllanishi va evolyusiyasida muhim rol o'ynaydi. Galaktikalar orasidagi guruhlar yoki klasterlar orasidagi gaz, odatda juda issiq, uning harorati millionlab yoki o'n millionlab darajaga yetishi mumkin. Kam zichlik tufayli u deyarli ko'rinadigan nurlarni chiqarmaydi, ammo uning porlashi, shunga qaramay, gazni shunday haroratda chiqaradigan rentgen kvantlarining oqimlarini oladigan kosmik teleskoplar orqali aniqlandi. Siyraklik darajasi yuqori bo'lishiga qaramay (zichlik Quyosh yaqinidagi yulduzlararo muhit zichligidan yuzlab va ming marta kam), galaktikalararo gaz juda katta massani o'z ichiga olishi mumkin. Ba'zi klasterlarda gaz massasi butun galaktikalar to'plamidagi yulduzlarning umumiy massasidan sezilarli darajada oshib ketadi.

Galaktikalar tizimini izlash va aniqlashning asosiy qiyinchiligi, biz osmonga proeksiyalangan galaktikalar dunyosini ikki o'lchovda ko'rishimiz bilan bog'liq. Osmonning har qanday mintaqasida ham yaqin, ham uzoq galaktikalar mavjud va bir-biridan farqlash har doim ham oson emas. Alohida galaktikalar yoki hattoki galaktika tizimlari tasodifan bir-biriga proeksiyalanishi mumkin. Guruhlarning bunday "yolg'on" tashkil etuvchilari juda ko'p, shuning uchun har bir galaktika uchun masofani mustaqil ravishda aniqlash uning ushbu tizimning bir qismi ekanligiga ishonch hosil qilish talab qilinadi.

8 yuzdan ortiq tizimni o'z ichiga olgan qo'shaloq va ko'p karrali galaktikalarning birinchi katalogi 1937 yilda shved astronomi Erik Xolmberg tomonidan Gaydelberg rasadxonasida olingan 6000 ga yaqin osmon tasvirlaridagi galaktikalar o'rnini sinchkovlik bilan o'rganib chiqib tuzilgan. Ushbu katalogni tuzish paytida radiusli tezlik faqat bir nechta galaktikalar uchun o'lchangan, shuning uchun Xolmberg faqat osmonda galaktikalarning bir-biriga yaqinligidan kelib chiqqan. Uning so'zlariga ko'ra, barcha galaktikalarning to'rtidan bir qismi

qo'shaloq tizimlarga tegishli. Keyinchalik, Xolmberg tizimlarining sezilarli qismi xayoliy ekanligi aniqladi, bu asosan fotosuratlarining yetishmasligi bilan bog'liq. Biroq, bir nechta tizimdagi galaktikalarning umumiy ulushi ozmi-ko'pmi to'g'ri baholandi va Xolmberg tomonidan topilgan ba'zi statistik naqshlar bizning davrimizda o'z ahamiyatini saqlab qoldi. Ikkilik tizimdagi galaktikalarning katta qismini taxmin qilish 1970-yillarda sovet astronomi Igor Karachensev tomonidan tasdiqlangan. U shimoliy osmonning 600 dan ortiq juftligi to'g'risidagi ma'lumotlarni o'z ichiga olgan izolyatsiya qilingan juft galaktika juftligini zamonaviy katalogini tuzdi. Ushbu juft galaktikalarning ko'pi katalogni tuzgandan so'ng, dunyodagi eng katta teleskoplarning tadqiqot dasturlariga kiritilgan. Shakllanuvchi juftlikdan bir necha baravar ko'p bo'lgan galaktikalar uchta (uchlik), to'rt (kvartet), beshta (kvintet), oltita (sektet) va undan ortiq a'zoni o'z ichiga olgan tizimlarning bir qismidir. Bunday shakllanishlar odatda bir nechta tizim yoki kichik galaktikalar guruhlariga deb ataladi. Ularni o'rganish galaktikalar qanday paydo bo'lganligini va ular bir-birining evolyusiyasiga qanday ta'sir qilishini tushunishga yordam beradi.



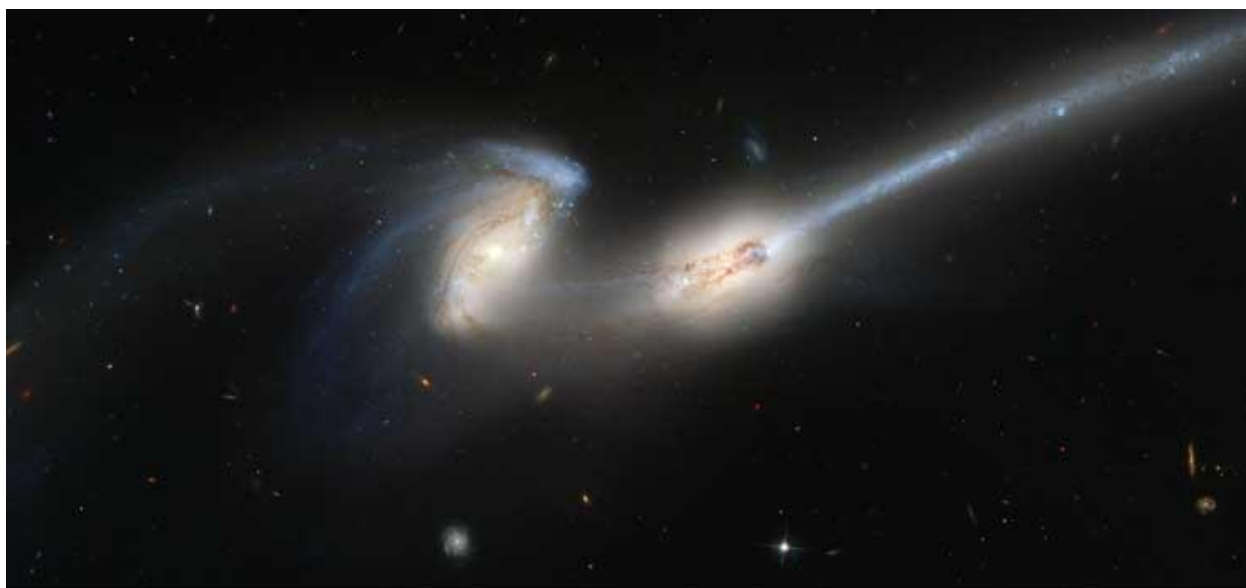
Umuman olganda, mavjud bo'lgan galaktikalarning aksariyati ikkilik va ko'p tizimlarga, guruhlariga va klasterlarga tegishli.

Bir nechta tizimlar va galaktikalar guruhlariga, shuningdek, guruhlar va klasterlar o'rtasida galaktika kattaligi yoki soni bo'yicha aniq chegara yo'q. Odatda tizimdagi a'zolarining umumiy sonini taxminan aniqlash mumkin. Gap

shundaki, buning uchun har bir galaktikaga, extimol, ma'lum bir tizimga tegishli masofani taxmin qilish kerak. Tizimga tegishli ko'plab zaif galaktikalarni shunchaki o'tkazib yuborish mumkin. Kuzatilishi qiyin bo'lgan, yorqinligi past mitti galaktika, ko'pincha ulkan galaktikalar yaqinida joylashganligi aniqlanganda, a'zolik yanada ehtiyotkorlik bilan olib borilgan tadqiqotlar bilan ko'payib boradi.

Bizning galaktika ham mahalliy guruh deb nomlangan juda katta guruhga tegishli. Mahalliy guruhning qirقدan ziyod a'zosi bor va u 5 million yorug'lik yili bo'ylab joylashgan hududga tarqalgan. Ularning orasida ikkita yirik spiral galaktika - Andromeda tumanligi (M 31) va bizning Galaktikamiz ajralib turadi. Uchinchi spiral galaktika - Uchburchakdagi tumanlik (M33) - bu ikkalasidan yorqinligi jihatidan ancha past. Mahalliy guruhga mansub bo'lgan bir katta elliptik galaktika ham topildi (garchi bu hali tasdiqlashni talab qilsa ham), lekin uning atrofida joylashgan. Tasodifan u osmonda Somon yo'li sohilida, Kassiopeya yulduz turkumida joylashgan, bu yerda yulduzlararo chang uzoq manbalarning nurini ancha susaytiradi, shuning uchun nisbatan kichik masofaga qaramay, bu galaktika juda kech kashf etilgan (singdirish unchalik kuchli bo'lmagan infraqizil nurlarida (1968 yilda). Uning kashfiyotchisi, italiyalik astronom Paolo Maffey nomi bilan atalgan, u Maffei 1 ob'ekti sifatida tanilgan. Undan uzoqda Maffei 2 deb belgilangan spiral galaktika joylashgan. Ushbu galaktikalar Mahalliy guruhda saqlanadimi yoki undan mustaqil ravishda harakat qiladimi, hali aniq emas. Mahalliy guruhda bir nechta tartibsiz galaktikalar mavjud bo'lib, ularning eng kattasi bizning Galaktikamizning sun'iy yo'ldoshlari bo'lib, osmondafaqat ekvatorning janubida oddiy ko'z bilan aniq ko'rinadi. Bu katta va kichik magellan bulutlari. Qolgan Mahalliy guruh galaktikalari – bujuda past sirt yorqinligi bo'lgan mitti galaktikalardir. Ulardan ba'zilari bizning Galaktikamiz tomon, ba'zilari Andromeda tumanligi tomon tortishadi, boshqalari esa Maffei-1 yaqinida kichik guruhni tashkil qiladi. Shunday qilib, galaktikalar guruhlari o'zlarining tuzilishiga ega bo'lishi mumkin; ular ichida ko'pincha bir-biridan uzoqlashmaydigan alohida kichik guruhlar kuzatiladi.

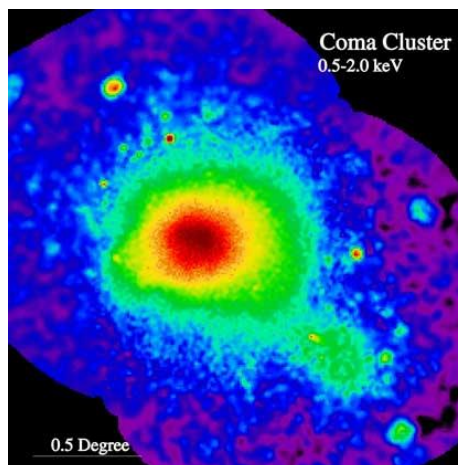
Juft va bir nechta tizimda, buzilgan shakllari bo‘lgan galaktikalar (odatda spiral) tez-tez kuzatiladi, ularning atrofida alohida ajralib turmaydigan yulduzlarning umumiy nurli tumani bor. Odatda, uzoq yulduz yoki gaz "dumlari" va qo‘shni yulduz tizimlarini bog‘laydigan to‘siqlar mavjud. Bunday galaktikalar (yoki ularning tizimlari) o‘zaro ta‘sir qiluvchi deb nomlanadi. Ular nafaqat juftlik va guruhlarda, balki galaktikalar klasterlarida ham uchraydi, garchi ular nisbatan kam uchrasada (klasterlarning markaziy mintaqalari bundan mustasno), bu galaktikalarning yuqori nisbiy tezliklari bilan bog‘liq. Umuman olganda, ma‘lum bo‘lgan barcha galaktikalarning bir necha foizida o‘zaro ta‘sirning aniq belgilari kuzatiladi va uzoq o‘tmishda, milliardlab yillar oldin, galaktikalarning o‘zaro ta‘siri va birlashishi jarayoni ancha intensiv bo‘lgan deb taxmin qilish uchun asoslar mavjud.



O‘zaro aloqada bo‘lgan galaktikalarning kuzatiladigan xususiyatlarining sababi yaqin galaktikalarning bir-biriga tortishish ta‘siridir. O‘zaro aloqada bo‘lgan galaktikalarning shakli shunchalik g‘ayrioddiy va tushuntirish qiyinki, uzoq vaqt davomida yulduz tizimlarini bir-biridan ajratib turadigan fizikaga noma‘lum galaktikalar orasidagi faraziy itaruvchi kuchlarning ta‘siri extimoli muhokama qilingan. Garchi keyinchalik bu g‘oyadan voz kechilgan bo‘lsa-da, o‘zaro aloqada bo‘lgan galaktikalarni o‘rganishda hali ham ko‘plab muammolar ochiqlicha qolmoqda.

Bizning Galaktikamiz o'zining ikkita qo'shnisi - Katta va Kichik Magellan bulutlari bilan ham o'zaro ta'sir qiluvchi tizimni shakllantiradi: bu ikkita kichik galaktikadan Galaktikamiz tomon uzoq vaqt davomida ushbu tartibsiz galaktikalarni o'rab turgan yoki ularning bir qismi bo'lgan vodoroddan iborat uzun gazli halqa cho'zilgan. Ushbu gaz dumi Magellanik oqimi deb ataladi. U hech qanday teleskopda ko'rinmaydi va faqat 21 santimetr to'lqin uzunligida kam uchraydigan atom vodorodining zaif radio emissiyasi bilan aniqlanadi, bu gazning hech bo'lmaganda qismi Galaktikaga tushadi va yulduzlararo gazga aralashib ketadi. Va bir necha milliard yil ichida Magellan bulutlari o'zlarining harakatlanish energiyasini yo'qotib, bizning Galaktikamizga aralashib ketadi. Biroq, bu hech qanday falokatlarga tahdid solmaydi. Faqatgina galaktikamiz diskida yangi yosh yulduzlarni shakllantirish jarayonini biroz faollashtirishi mumkin.

Qo'shaloq tizimlarda, guruhlarda va klasterlarda o'xshash morfologik tipdagi galaktikalarni topish mumkin: elliptik, lentikulyar, spiral, tartibsiz, yuqori nurli galaktikalar va mitti tizimlar. Ammo boy "muntazam" klasterlarda, masalan, Koma sochlarida (lotincha Koma degan ma'noni anglatadi, u Koma degan ma'noni anglatadi), asosan yulduzlar paydo bo'lishiga sarf qilgan yoki yulduzlararo gazining asosiy zaxiralarini "yo'qotgan" galaktikalar mavjud. Bularga elliptik va lentikulyar galaktikalar kiradi. Extimol, bunday klasterlarning galaktikalaridagi gaz miqdori pastligi sababi ular yuqori tezlikda harakatlanadigan galaktikalararo gazzimon muhit bilan o'zaro aloqada bo'lishidir. Farishta klasteri kabi juda kam uchraydigan, ochiq galaktikalar guruhiga kelsak, ko'p miqdordagi gazni o'z ichiga olgan spiral va tartibsiz galaktikalar juda ko'p, ayniqsa klaster atroflarida. Ochiq klasterlar ichida galaktikalar notekis taqsimlanib, ko'pincha alohida guruhlarini tashkil qiladi. Ushbu klasterlarning shakllanishi hali tugamagan va ularga kirayotgan galaktikalar hali bir-biri bilan to'g'ri "aralashib" ulgurmagan. Aftidan, ba'zi galaktikalar, tortishish kuchi ta'sirida klasterga uchib kelmoqda va klasterning issiq gazida harakatlanib, yulduzlararo gazni yo'qotishga hali ulgurmagan.



Guruhlar va klasterlar misolida bizning davrimizda galaktikalar tomonidan shakllangan yirik masshtabli tuzilish yelementlari qanday shakllanib, o'zgarib borishi ko'rsatilgan.

Ko'p tizimlar va guruhlarda galaktikalarning xarakterli nisbiy harakat tezligi 100-200 km/s, boy klasterlarda esa o'n baravar yuqoriroq. Yuz millionlab yillar davomida ushbu tizimlardagi galaktikalar konfiguratsiyasi tanib bo'lmaydigan darajada o'zgarishi kerak va 1-2 milliard yil ichida galaktika tizim kattaligi bilan taqqoslanadigan masofani bosib o'tishi mumkin. Biroq, galaktikalarning umumiy tortishish maydoni va galaktikalararo muhit galaktikalarni ushlab turadigan o'zaro tortishish kuchini ta'minlaydi, ularning tarqalishiga yo'l qo'ymaydi. Tizim ichidagi galaktikalarning harakatlanish tezligi bo'yicha kerakli tortishish maydonini yaratadigan moddaning massasi va zichligini o'lchash mumkin. Bu, o'z navbatida, galaktikalar sonining taqsimlanishidan galaktikalar bilan bog'liq bo'lgan moddalarning zichligini baholashga o'tishga imkon beradi va kosmosdagi moddalar zichligining tarqalishi nafaqat kichik, balki bir hil emasdegan xulosaga kelishimiz mumkin. katta tarozilar.

5.3 Koinotning yirik masshtabdagi strukturasi

Galaktika klasterlari mavjudligi haqida ma'lum bo'lganda, ular o'z navbatida yanada kattaroq tizimlarni tashkil etadimi degan savol tug'ildi? Va bunday ierarxik tuzilish har qanday tizim ikkinchisining bir qismi bo'lganida va u

hatto kattaroq tizimning bir qismi bo'lganida va hokazolarda abadiy uzayishi mumkin emasmi? Ilm birinchi savolga ijobiy javob, ikkinchisiga esa salbiy javob berdi.

Shaxsiy klasterlardan kattaroq miqyosi bo'yicha juda katta galaktikalar konsentratsiyasi mavjudligining birinchi ko'rsatkichi Uilyam Xersel va uning o'g'li Jon Gershelning ishlaridan kelib chiqqan. Somon yo'lidan uzoqroq joyda (ular yendi biz ularning ko'pchiligi galaktikalar ekanligini bilamiz) topilgan tumanliklar juda notekis taqsimlangan bo'lib chiqdi: tumanliklarning uchdan bir qismi osmonning sakkizinchi qismida, Virgo klasterida joylashgan. 20-asrda astronomik kuzatuvlarning keskin ko'paygan imkoniyatlari galaktikalarning fazoviy taqsimlanishini o'rganishda jadal rivojlanishga olib keldi. 1950-yillarda amerikalik astronom Jerar de Vaukul "Supergalaktika" atamasini kiritdi. Shunday qilib, u taxminan yuz million yorug'lik yili bo'ylab galaktikalarning tekislangan konsentratsiyasini chaqirdi, uning markazida Farishta klasteri joylashgan. Supergalaktika osmonda bir necha o'n darajaga cho'zilgan cho'zilgan mintaqani qamrab oladi. Yaqin atrofdagi galaktika klasterlarining aksariyati bizning Galaktikamiz tekisligiga deyarli perpendikulyar bo'lgan Supergalaktika tekisligi yonida joylashgan. Ko'p o'tmay, galaktika klasterlarining birinchi keng katalogi muallifi amerikalik astronom G. Abel Vaucoulera supergalaktikadan ancha uzoqroqda joylashgan bir emas, balki bir nechta "klaster klasterlari" mavjudligini ta'kidladi (u mahalliy Supergalaktika yoki Mahalliy deb ham ataladi. Superclosing). 1960-yillarda Liks Observatoriyasi (AQSh) astronomlari S. Sheyn va S. Virtanen ham Mahalliy Supergalaktika bilan bir xil o'lchamdagi uzoq galaktikalarning bir nechta "bulutlarini" kashf etdilar. Galaktikalarning g'ayritabiiy katta konsentratsiyasining mavjudligi, shuningdek, Palomar Sky Survey fotosuratiga ko'ra juda ko'p miqdordagi galaktikalar va ularning klasterlari tarqalishining ko'p jildli atlasini tuzgan F. Sivikki (AQSh) asarlaridan kelib chiqqan. Bir necha o'nlab o'nlab alohida galaktikalar klasterlarini birlashtirgan tizimga nisbatan qo'llaniladigan "Galaktikalar superklasteri" atamasi qat'iy qaror topdi. Hozirgi vaqtda ikki yoki undan ortiq alohida

galaktikalar klasteridan tashkil topgan ikki yuzdan ortiq superklasterlar aniqlandi.

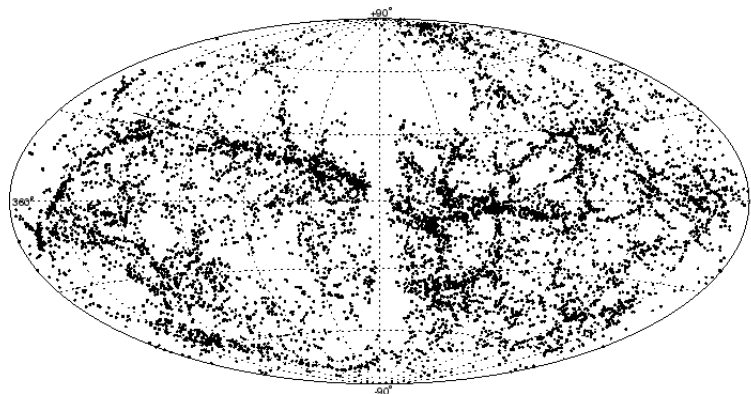
Keng ko‘lamli tuzilmani o‘rganishda sifat jihatidan yangi darajaga galaktikalarning radiusli tezliklarini (qizil siljishlarini) ommaviy baholarini olishda erishildi. Galaktikalarga masofani tavsiflovchi radiusli tezliklarni bilish (qarang Xabbl qonuni) bir milliarddan ziyod yorug‘lik yilidagi tarozilarni qamrab oluvchi galaktikalarning fazoviy taqsimotining uch o‘lchovli xaritalarini (osmonning ba’zi tanlangan mintaqalari uchun) tuzishga imkon berdi.

Galaktikalar taqsimotini va ularning tezligini tahlil qilish natijasida superklasterlarni klasterlarning o‘zi kabi bir-biriga bog‘langan tizim sifatida ko‘rib bo‘lmaydi, faqat kattaroq miqyosda mumkin bo‘ladi. Superklasterlar, ma’lum bo‘ldiki, klasterlarning alohida orollari yoki alohida galaktikalar emas, shunchaki kosmosda galaktikalar va ularning tizimlari tomonidan hosil bo‘lgan murakkab, uyali yoki filamentli strukturaning eng zich mintaqalari.

Koinot uyali tuzilishga egami yoki yo‘qmi degan savolni birinchi bo‘lib 1970-yillarda Yaan Yeynasto va uning hamkorlari (Tartu Observatoriyasi, SSSR) ilgari surishgan. Turli mamlakatlardan kelgan astronomlarning ko‘plab asarlari Yestoniya astronomlari tomonidan qilingan taxminni tasdiqladi. Ma’lum bo‘lishicha, koinotning eng katta masshtabli tuzilishi chindan ham galaktikalar va ularning tizimlari turli o‘lchamdagi yacheykalardan tashkil topgan. Galaktikalar va ularning klasterlari bir-biri bilan kesishgan, taxminan 10 million yorug‘lik yili qalinligi egri "devorlariga" to‘planadi. Ba’zi "devorlar" ni yuz millionlab yorug‘lik yillari masofasida topish mumkin. Devorlari "yopiladigan" joylarda, ayniqsa, juda ko‘p galaktikalar (superklasterlar) mavjud. Bu galaktikalarning kosmosdagi konsentratsiyasining ko‘paygan joylari o‘ziga xos uzun iplar (zanjirlar) hosil qiladi. Yacheykalar ichida, devorlar orasidagi bo‘shliqlar mavjud (ular inglizcha "bo‘shliq" dan "bo‘shliq" - "bo‘sh joy" deb nomlanadi), bu yerda galaktikalar zichligi o‘rtacha ko‘rsatkichdan kamida o‘n baravar kam.

Osmonning deyarli yarmi bo‘ylab cho‘zilgan "Buyuk devor" deb nomlangan yana bir uzun "devor" ga yana bir supergalaktika markazida, qariyb 300 million yorug‘lik yili uzoqlikdagi Koma sochlari deb nomlanadi va u yaxshi

o'rganilgan klasterdir.



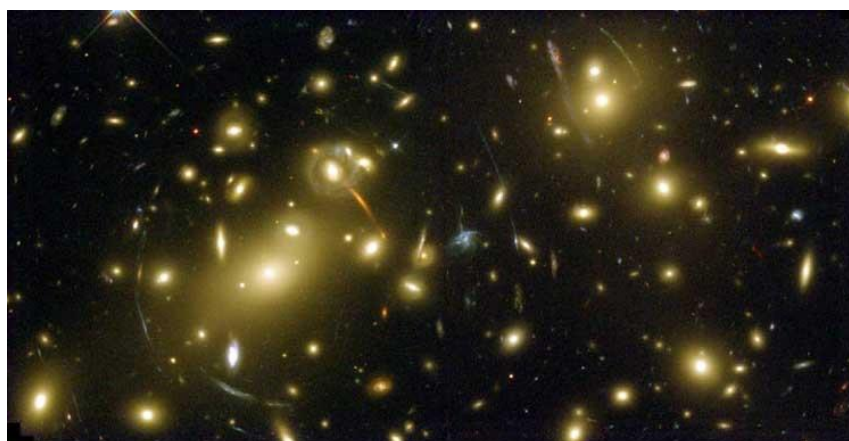
2003 yilda Angliya-Avstraliya teleskopi (Avstraliya) osmonning ayrim mintaqalarida yekstragalaktik ob'ektlar, shu jumladan juda zaif va uzoqroq bo'lganlarning radiusli tezligini massa bilan o'lchash dasturini yakunladi. Dasturni bajarish natijasida rekord darajada (250 mingga yaqin) alohida galaktikalar uchun masofaviy hisob-kitoblar olingan. Ushbu o'lchovlarga binoan osmonning qarama-qarshi ikkita mintaqasida (Galaktikaning shimoliy va janubiy qutblari yaqinida) o'tkazilgan galaktikalar tarqalishining uch o'lchovli rasmini tahlil qilish shuni ko'rsatdiki, yuqorida tavsiflangan uyali tuzilmani har bir yo'nalishda bir milliarddan ortiq yorug'lik yili masofasi va, extimol, hali ham davom etmoqda. Shubhasiz, bu bizning butun koinotimizning tuzilishi.

Bunday holda, Koinotni bir necha yuz million yorug'lik yili miqyosidan boshlab bir hil deb hisoblash mumkin ekan. Ushbu yoki kattaroq kattalikdagi kub (qaerga joylashtirilmasin) taxminan bir xil miqdordagi galaktikalar, galaktika klasterlari yoki "bo'shliqlar" ni o'z ichiga oladi va kichikroq masshtablarda galaktikalarning taqsimlanishini bir xil deb bo'lmaydi, hatto taxminan. Ushbu muhim xulosa olam yevolyusiyasining kosmologik nazariyasini ishlab chiqishda hisobga olinishi kerak.

GRAVITATSIYA TARKIBLAR PAYDO BO'LISHINING SABABCHISI. Bir tomondan, katta hajmdagi uyali tuzilish yelemntlaridan juftliklar, bir nechta tizimlar, guruhlar, galaktikalar klasterlarini ajratib turadigan muhim xususiyat shundaki, birinchisi tortishish kuchi bilan bog'langan hosilalardir (tortishish ularni kengayishdan va yo'q qilish), ikkinchisi esa yo'q.

Olamning kosmologik kengayishi tufayli superklasterlardagi, Yacheykalar devorlaridagi galaktikalar bir-biridan uzoqlashishda davom etmoqda va Xabbl qonuni ham ular uchun bajarilmoqda ("devorlar" ning tortishish maydonlarini hisobga olgan holda kichik o'zgarishlar bilan) va individual klasterlar). Biroq, ilgari klasterlar tortishish kuchi bilan bog'liq bo'lmagan tizimlarni kengaytirmoqda, degan fikr ilgari surilgan edi, chunki klasterlardagi galaktikalarning nisbiy tezligi kutilmaganda yuqori (ko'pincha 1000 km/s dan yuqori) bo'lib chiqdi. Klasterdagi barcha galaktikalar yulduzlari to'plamining massasi, qoida tariqasida, tez harakatlanuvchi galaktikalarni bir-biriga bog'lab turishga yetarli emas. Klasterlarning tez kengayishi haqidagi taxmin tabiiy bo'lib tuyulishi mumkin va faqat galaktikalarning katta davri boshqa izohlarni izlashga majbur qildi. Albatta, galaktikalar orasidagi bo'shliqda hali ham issiq gaz mavjud. Klasterlarda uning massasi ko'pincha individual galaktikalarning umumiy massasidan oshib ketadi, ammo ko'p hollarda bu galaktikalarni ushlab turish uchun yetarli emas. Bundan tashqari, tortishish maydoni asosiy rol o'ynaydigan yorug'lik chiqarmaydigan massa bo'lishi kerak.

Klasterlarda ko'rinmas massa borligi to'g'risida yakuniy xulosa shundan iboratki, ularning ba'zilarining tortishish maydonlari ancha uzoqroq galaktikalar chiqaradigan klasterlardan o'tuvchi yorug'lik nurlarini chetga suradi. Agar galaktikalar klaster orqasida yaxshi joylashtirilgan bo'lsa, ularning yorug'lik nurlari yegilib, klasterdan bir oz masofada birlashadi, go'yo ular unchalik sifatli bo'lmagan shisha linzalardan o'tgandek. Klasterning tortishish maydonida uzoqdagi galaktikalar tasvirlarini "chizish" mumkin. Ushbu effekt yaxshi o'rganilgan va u "gravitatsion linza" deb nomlanadi.



5.4 Koinotdagi galaktikalar filamen orqali taqsimlanishi

Qorong‘u massaning tabiati hali ham aniqlangani yo‘q (uni tashkil etuvchi elementar zarrachalarning bir nechta variantlari ko‘rib chiqilmoqda), ammo bu ko‘rinmas vosita koinotning katta miqyosli tuzilmalarni shakllantirishda muhim rol o‘ynashi aniq.

Zamonaviy konsepsiyalarga ko‘ra, koinotning kengayishining dastlabki bosqichlarida materiya deyarli ideal ravishda bir tekis taqsimlangan. Buni, masalan, koinot kengayishining galaktikadan oldingi bosqichida oddiy gaz chiqargan osmon radiatsiyasi fonidagi (relikt) yorqinlikdagi bir xil bo‘lmaganlikning amplitudasi bilan baholash mumkin (bu bir xil bo‘lmagan miqdorlar foizning mingdan bir qismigacha bo‘lgan va 90-yillarda faqat uzoq muddatli izlanishlar natijasida topilgan). Gravitatsiya, ya‘ni, har qanday tabiatdagi barcha moddiy zarralarning o‘zaro tortilishi bir xillikni buzish, moddalarni alohida tuzilmalarga tortish va zichlikning har qanday tebranishlarini kuchaytirish xususiyatiga ega. Gravitatsiyaviy kuchlar bir oz zichroq maydonlarning kengayishini asta-sekin sekinlashtirdi, shuning uchun dastlab materiyaning zichligidagi kichik bir xil bo‘lmagan zichliklar vaqt o‘tishi bilan tez sur‘atlarda o‘sib borishi kerak edi, ular juda kam uchraydigan joylarni o‘zlashtirishi va tobora "qarama-qarshi" bo‘lib qolishi, shunga qaramay kengayishda davom etishi kerak edi. Zichlik ayniqsa yuqori bo‘lgan joylarda tortishish kengayishni butunlay to‘xtatishi va qisqarishga o‘zgartirishi mumkin. Vaqt o‘tishi bilan bunday mintaqalarda tortishish bilan bog‘langan tizimlarga birlashgan galaktikalar paydo bo‘ldi. Qorong‘u massani jalb qilmasdan, kengayish jarayonining 13-14 milliard yillari davomida fon nurlanishining yorqinligini taqsimlashda qo‘lga kiritilgan nozik zichlikdagi usulsüzlüklerin shunchalik o‘sishi mumkinligini tushuntirish juda qiyin bo‘lar edi. galaktikalar tomonidan hosil qilingan murakkab tuzilmani kuzatdi. Yulduzlar va galaktikalar dunyosi umuman paydo bo‘lishi mumkin emas edi va agar oddiy materiyaning tortishish maydoni yorug‘liksiz, yashirin massa borligi bilan mustahkamlanmaganida, Olam ham paydo bo‘lmasedi.

Kompyuter hisob-kitoblari koinotning kengayishi paytida dastlab ahamiyatsiz bo'lgan tasodifiy zichlikdagi g'alayonlanishlardan katta hajmdagi uyali tuzilish paydo bo'lish imkoniyatini tasdiqladi. Fizik jihatdan maqbul bo'lgan ma'lum bir dastlabki sharoitlarda raqamli modellar "ekranda" iplar va Yacheykalar hosil bo'lish jarayonini va ularda alohida galaktikalarni ko'paytirishga imkon berdi. Bunday kompyuter modellari haqiqiy koinotni qanchalik yaxshi va to'liq tavsiflaydi, hozirgi paytda bu hali muhokama qilinayotgan masaladir. Bu yerda hal qilinmagan ko'plab muammolar mavjud. Har holda, koinotning keng ko'lamliligi tuzilishini o'rganish zarur bo'g'in bo'lib chiqdi, usiz atrofimizdagi dunyo qanday paydo bo'lganligini anglab bo'lmas edi.

Nazorat savollari:

1. Koinotning o'lchami qancha yorug'lik yili?
2. Buyuk devor nima va ularning o'lchamlari qanday?
3. Filamen nima?
4. Galaktikalar qanday taqsimlangan?
5. Koinotning bir jinsliliigi nimani anglatadi?
6. Koinot qanday kengaymoqda?
7. Koinotning kengayishi Quyosh tizimiga ta'sir qiladimi?
8. Koinotning kengayishi natijasida galaktikalar ham kengayadimi?
9. Xabll doimiysi nimani anglatadi?
10. Kosmologik doimiy nima?

6-Mavzu: GRAVITATSION TO‘LQINLAR (2 soat).**REJA**

- 6.1. *Astronomiyada gravitatsion to‘lqinlar.*
- 6.2. *Gravitatsion to‘lqinlar manbalari.*
- 6.3. *Qora o‘ralar va neytron yulduzlarning to‘qnashuvi natijasida hosil bo‘lgan gravitatsion to‘lqinlar.*
- 6.4. *Gravitatsion to‘lqinlarni qayd qilish.*

Tayanch iboralar: Gravitatsion to‘lqin, kosmik mikroto‘lqin, qora o‘ra, neytron yulduz.

6.1. Astronomiyada gravitatsion to‘lqinlar

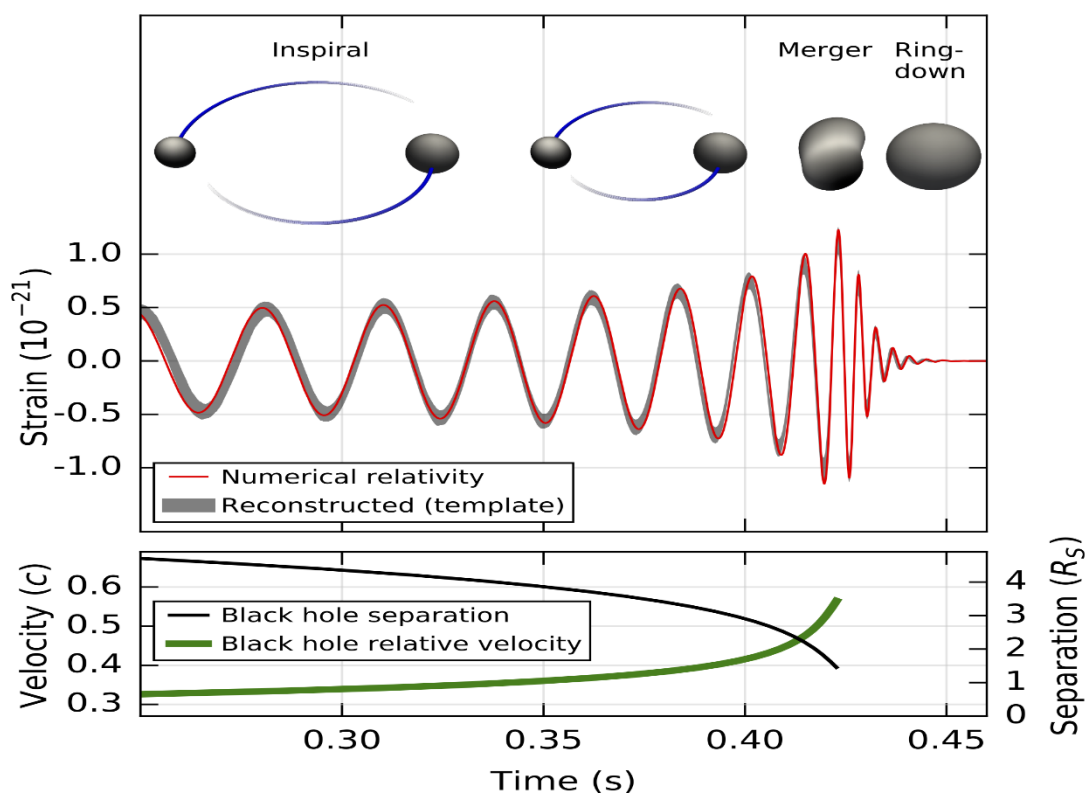
Gravitatsion to‘lqinlar Eynshteyn tomonidan XX asrning boshlarida umumiy nisbiylik nazariyasi doirasida bashorat qilingan edi. Oradan sal kam yuz yil o‘tibgina bu bashoratlar o‘z tasdig‘ini topdi. 2015 yilda LIGO va VIRGO observatoriyasi tomonidan Yerdan taxminan 1,3 milliard masofada joylashgan nuqtada ikki qora tuynuk to‘qnashuvidagn paydo bo‘lgan gravitatsion to‘lqinlar aniqlandi va bu GW150914 hodisa sifatida qayd etildi. Bu ilm fan sohasida ulkan g‘alaba qo‘lga kiritilishi sifatida e‘tirof etildi. Va 2017 yilda Rayner Vayss, Barri Barish va Kip Tornlarga Nobel mukofoti topshirildi. Yurtimizda ilm-fanga bo‘lgan e‘tibor olib borilayotgan siyosatning eng asosiy yo‘nalishlaridan biri bo‘lib qoldi. Bunga misol qilib astronomiya sohasida olib borilayotgan ishlarni keltirishimiz mumkin. Aniq faktlarni keltirib o‘tadigan bo‘lsak, nafaqat O‘zbekistondagi balki butun dunyodagi eng qulay astronomik kuzatuv iqlimiga ega Maydanak tog‘ida joylashgan observatoriyada diametri to‘rt yarim metrli teleskopning qurilish ishlari boshlab yuboilganini keltirish mumkin. Bu sohada olib borilayotgan ishlar ta‘lim jarayoniga ham innovatsion texnologiyalar yuqori suratlar bilan kirib kelishiga o‘z ta‘sirini o‘tkazmay qolmaydi.

6.2. Gravitatsion to‘lqinlar manbalari

XX asrga qadar astronomlar osmon jismlarini faqatgina yorug‘likning ko‘rinma (inson ko‘zi bilan ko‘ra oladigan) nurlaridagina kuzatish bilan chegaralanar edilar. XX asrga kelib texnika rivoji natijasida astronomlarning imkoniyatlari jadallik bilan ortdi. Osmonni radiodiapazonda kuzatish (xamda eshitish) imkoniyati paydo bo‘ldi (radioastronomiya). Ma‘lumki, Yer atmosferasi xayot uchun xavfli bo‘lgan ultrabinafsha, rentgen va gamma nurlanishlarni yutib qoladi. Biroq osmon jismlarini elektromagnit nurlanishning bunday to‘lqin uzunliklarida kuzatish ularning tabiati xaqida ko‘plab yangi ma‘lumotlarni berishi mumkin. Bunday imkoniyat o‘tgan asrning 70 yillarida paydo bo‘ldi, o‘shanda astronomik uskunalarni avval raketalariga, so‘ng sun‘iy yo‘ldoshlarga, so‘ng esa sayyoralararo kosmik apparatlarga o‘rnatila boshlandi. Shunday qilib astronomlar omon jisimlarni elektromagnit spektrining barcha sohalarida kuzatish imkoniga ega bo‘ldilar. Oddiy qilib aytganda astronomlar Koinotni barcha to‘lqin uzunliklarida kuzata boshladilar.

Koinotda ba‘zi-bir jarayonlar paytida (masalan, yulduzlar ichidagi yadroviy reaksiyalarda yoki o‘ta yangi yulduzlar paydo bo‘lishi paytlarida) elektromagnit to‘lqinlardan tashqari kuplpb neytrinolar paydo bo‘ladi. XXI asr boshlariga kelib neytrino astronomiyasi yuzaga kelganligi konstatatsiya qilindi. 2015 yilning kuzida biz astronomiyaning yana bir yangi yo‘nalishi, gravitatsion to‘lqinlar astronomiyasining paydo bo‘lishina guvohi bo‘ldik. 2016 yilning 11 fevralida AQSh Milliy ilmiy fondi (National Science Foundation – NSF) tomonidan gravitatsion to‘lqinlarning ilk bora tajribada qayd etilgani e‘lon qilindi. Ushbu kashfiyot olamshumul kashfiyot bo‘lib, zamonaviy astrofizikada yangi ilmiy yo‘nalishlarni ochadi⁴¹.

⁴¹James B. Hartle, Gravity: An Introduction to Einstein’s General Relativity, Pearson Education Ltd., 2013, 554 p.



2-rasm. Ikkita qora tuynuklarning qo‘shilishi natijasida tarqalgan gravitatsion to‘lqinlarning qayd etilishi.

Gravitatsion to‘lqinlar mavjud bo‘lishi nazariy jixatdan Albert Eynshteyn tomonidan umumiy nisbiylik nazariyasini yaratganidan so‘ng 1916 yildayoq aytilgan edi. Oradan 100 yil o‘tib, gravitatsion to‘lqinlar kashf etildi. AQSh dagi gravitatsion to‘lqinlarni qayd etuvchi LIGO – observatoriyasi tomonidan 2015 yilning 14 sentabrda ikkita qora tuynuklarning birlashishi natijasida yangi bitta Qora tuynukning paydo bo‘lishi natijasida ajralib chiqqan gravitatsion to‘lqinlarni qayd etdi⁴². Gravitatsion to‘lqinlar tabiatan kichik intensivlikka ega bo‘lib, ularning intensivligi gravitatsion to‘lqin manbasining massasiga to‘g‘ri proporsionaldir. Qora tuynuklar massalari yetarlicha katta bo‘lganligi tufayli ulardan kelayotgan gravitatsion to‘lqinning intensivligi tajriba qurilmalari aniqligi intervalida bo‘ldi. Gravitatsion to‘lqinlar yorug‘lik tezligida tarqaluvchi, fazodagi massiv ob‘ektlarning o‘zgaruvchan tezlanishi natijasida fazoda paydo bo‘luvchi

⁴²T. Padmanabhan, *Theoretical Astrophysics, Volume I-III*, Cambridge University Press, 2010.

yuguruvchi tebranishlardir. Ikkinchi tarafdin esa gravitatsion o‘zaro ta’sir juda ham kuchsiz (tabiatdagi boshqa mavjud o‘zaro ta’sirlarga nisbatan), uning ustiga kvadrupol xarakterga ega bo‘lgan gravitatsion to‘lqinlar amplitudasi kichik bo‘lgani uchun ularning mavjudligini tajribada tasdiqlash uzoq yillar davomida imkonsiz vazifa bo‘lib kelgan.

1974 yili Rassel Xals va Djozef Teylor tomonidan PSR B1913+16 qo‘shaloq neytron yulduzidan iborat tizimni kuzatuv natijasida gravitatsion to‘lqinlarning mavjudligining bilvosita tasdig‘i olindi va 1993 yilda ushbu olimlar fizika bo‘yicha Nobel mukofotiga sazovor bo‘ldilar. Yulduzlarning bir-birining atrofida aylanishi natijasida ular gravitatsion to‘lqinlar tarqatishadi va buning natijasida ularning xarakat kinetik energiyasi kamayib boradi. Yulduzlar energiyalarining kamayishi ularning xarakat orbitalari radiuslarining kamayishiga, bu esa o‘z navbatida aylanish davrlarining kamayishiga olib keladi. Umumiy nisbiylik nazariyasi tomonidan qilingan ushbu hisob-kitoblar kuzatuv natijalar bilan mos keldi.

Gravitatsion to‘lqinlarni bevosita qayd etish masalasi 1960 yillarda Djozef Veber tajribalari va undan keyin Veber tomonidan taklif etilgan hamda takomillashtirib borilgan gravitatsion to‘lqinlar rezonans detektorlari yordamida qayd etishga urinishlari bilan bog‘liq. Ushbu detektorlarning ishlash prinsipi gravitatsion to‘lqinlarning katta – taxminan bir metrlik odatda alyumin silindr bo‘ylab o‘tishida uning siqilishi va kengayishi natijasida unda tebranishlarni vujudga kelishi va ushbu silindr qo‘ng‘iroq singari “jaranglay” boshlab, ularni qayd etish imkoni paydo bo‘lishiga asoslangan.

Gravitatsion to‘lqinlar detektorlarining keyingi avlodi esa Maykelson interferometrlarini ishlatishga asoslangan. Ushbu asboblarning ishlash prinsipi gravitatsion to‘lqin interferometrning yelkalarini orasida yorug‘lik yo‘llarining farqini katta aniqlik bilan o‘lchashga asoslangan. Xozirgi paytda o‘lchash aniqligi yuqori bo‘lgan gravitatsion to‘lqin interferometrlari AQSh da joylashgan LIGO observatoriyasi (yelkalarining uzunliklari 4 km dan bo‘lgan ikkita interferometr) va Yevropadagi VIRGO (yelkasining uzunligi 3 km ga teng bo‘lgan interferometr) observatoriyalari bo‘lib, ushbu observatoriyalar o‘zaro xamkorlikda ishlashadi.

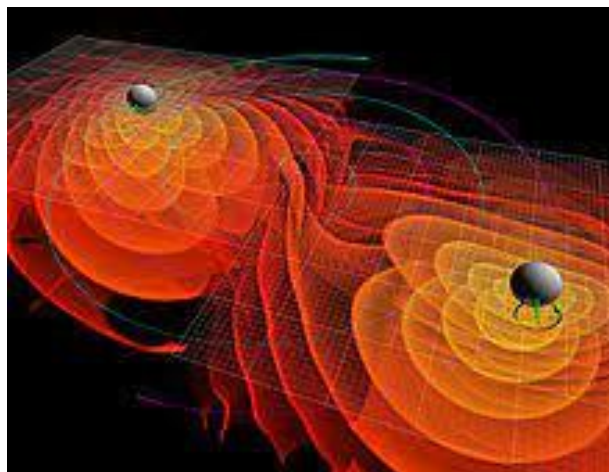
Ikkita qora o‘raning qo‘shilishi natijasida ajralib chiqqan amplitudasi 10^{-21} bo‘lgan gravitatsion to‘lqinlar 2015 yilning 14 sentabrida LIGO observatoriyasida dastavval Livingstondagi, so‘ngra 7 millisekunddan so‘ng Xenforddagi interferometrlar yordamida qayd etilgan. Bunda o‘lchash mumkin bo‘lgan signalning davomiyligi bor yo‘g‘i 0.2 sekund bo‘lgan. Ushbu xodisaga GW150914 raqami berildi (bunda xodisaning sanasi — YYOOKK shaklida yozilgan).

Ushbu xamkorlikda ishlayotgan olimlar qayd etilgan signalni qayta ishlash 2015 yilning 18 sentabrdan 5 oktabrgacha davom etgan. Bu paytga kelib ilmiy jamiyatda olamshumul kashfiyot xaqida gap-so‘zlar tarqala boshladi. Aynan shu paytda men va Astronomiya institutining katta ilmiy xodimi Axmadjon Abdujabbarov ilmiy safar bilan Germaniyaning Frankfurt universitetining Nazariy fizika institutida edik va ushbu olamshumul kashfiyotning xorijiy olimlar orasida muxokamasida qatnashish baxtiga muyassar bo‘ldik. Shunday qilib, o‘zbekistonlik olimlar ham ushbu olamshumul yangilikdan xabardor bo‘lgan kamsonli mutaxassislar qatorida bo‘lib qoldi.

6.3 Qora o‘ralar va neytron yulduzlarning to‘qnashuvi natijasida hosil bo‘lgan gravitatsion to‘lqinlar

LIGO va Virgo rasadxonalarida ish olib borayotgan fiziklarning xabar berishicha, gravitatsiya to‘lqinlarining yangi manbasi aniqlangan. Unda neytron yulduzning o‘ziga qo‘shni bo‘lgan qora tuynukka qulashi natijasidan gravitatsion mavjlanish sodir bo‘lgani aytilmoqda. Bu – olimlar tomonidan kuzatilgan gravitatsiya to‘lqinlarining yangi bir ehtimoliy manbasi bo‘lib, bungacha gravitatsion to‘lqinlar ikkita qora tuynuklarning o‘zaro to‘qnashuvi va birlashib ketishidan yoki ikkita neytron yulduzning to‘qnashuvidan hosil bo‘lgani aniqlangan edi. Endilikda esa astrofiziklar birinchi marta qo‘shaloq tizim – neytron yulduz va qora tuynukning to‘qnashuvi hosil qilgan fazo-vaqt mavjlanishi qayd qilgan. 2016 yilning 11 fevralida xalqaro LIGO ilmiy xamkorligidagi mutaxassislar Vashingtonda maxsus matbuot anjumanida gravitatsion to‘lqinlari xaqiqatda mavjudligi va qayd etilganini e‘lon qilishdi (Ma‘luot uchun, 1887 yilda Gersga o‘zi tomonidan mavjudligi aytilgan elektromagnit to‘lqinlarini qayd etish uchun bir

yil yetarli bo'lgan). Qayd etilgan signalning shakli umumiy nisbiylik nazariyasi doirasida qilingan ikkita massasi mos ravishda 36 va 29 Quyosh massasiga teng bo'lgan qora o'ralarning qo'shilishida chiqadigan gravitatsion to'lqinning shakli bilan mos keldi. Natijada xosil bo'lgan qora o'raning massasi esa 62 Quyosh massasiga teng ekan. 0,43 sekundda ajralib chiqqan gravitatsion to'lqinning energiyasi 3 Quyosh massasiga teng bo'lgan energiyaga teng ekan. Solishtirish uchun bizning Quyoshimiz 10 milliard yil davomida o'zining massasining mingdan bir qimini nurlanish energiyasi tariqasida yo'qotadi. Ushbu GW150914 ob'ektigacha bo'lgan masofa esa taxminan 1,3 mlrd yorug'lik yiliga yoki 41 megaparsekka teng. Signal manbasining joylashganlik yo'nalishi detektorlarda signalning o'tish vaqtlari farqi bilan aniqlanadi. Ikkita detektor mavjud bo'lganda esa, ushbu vaqtlar farqi faqat detektorlarni tutashtiruvchi to'g'ri chiziq va manbagacha bo'lgan yo'nalish orasidagi burchaknigina aniqlash imkonini beradi. Yulduz osmoni xaritasida gravitatsion to'lqinning joylashgan sohasi ingichka xalqa ko'rinishida bo'ladi. Ushbu xalqaning ingichkaligi o'lchash natijalarining aniqligiga bog'liq – qanchalik aniq o'lchashlar olib borilsa, shunchalik xalqa ingichkalashib boraveradi. GW150914 ob'ektidan kelayotgan signalning kechikishi $6,9+0,5-0,4$ ms ga teng va bu manba joylashgan soxa yulduzlar osmon xaritasida maydoni 140 kv. gradus yoki 590 kv. gradusga teng yarim oy shaklida ekanligi aniqlandi va bu uning optik va rentgen nurlar diapazonida kuzatish imkoni yo'qligini bildirdi.



LIGO dagi keyingi kuzatuvlar endi VIRGO (keyinchalik aniqligi yanada yuqoriroq bo'lgan Yaponiyaning KAGRA) observatoriyasi bilan xamkorlikda 2016 yilning avgust oyidan boshlab o'tkazilishi rejalashtirilgan. Gravitatsion to'lqinlarni qayd etishda yana bitta interferometrning qatnashishi gravitatsion to'lqinlarning qutblanishini aniqlash va manba joylashgan soxaning kichiklashtirish imkonini beradi. Uchta bitta to'g'ri chiziqda joylashmagan detektorning mavjudligi manbaning joylashgan koordinatasini aniqlash va ushbu manbani O'zRFA Astronomiya instituti va LIGO observatoriyasi bilan xamkorlik doirasida Maydanak balandtog' observatoriyasida optik diapazonda kuzatuv olib borish imkoniyatini ochib beradi. Bundan tashqari, LIGO observatoriyasi yordamida gravitatsion to'lqinlarni qayd etish orqali aniqlanishi kutilayotgan neytron yulduzlarning qo'shilishi xodisasi natijasida keng diapazonda kuchli elektromagnit to'lqinlar ham tarqalishi mumkin. Ushbu xolatda turli astronomik xodisalarni turli uzunlikdagi elektromagnit to'lqinlar yordamida kuzatish va gravitatsion to'lqinlar yordamida ushbu xodisalar xaqida to'laroq ma'lumot olish mumkin bo'ladi.

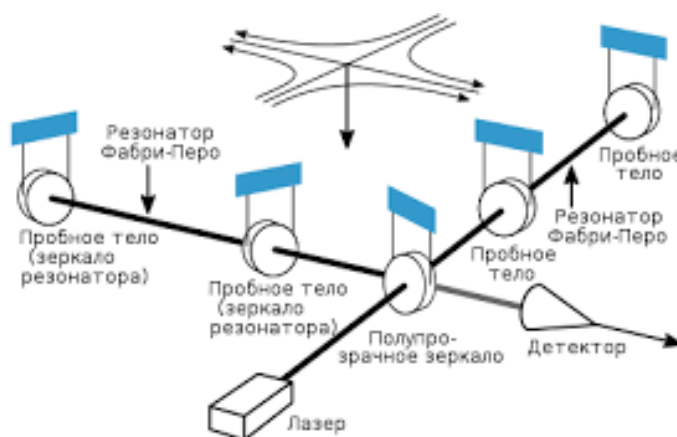
Ma'lumki, osmonni turli diapazondagi elektromagnit to'lqinlar yordamida o'rganish koinot xaqida yangi ma'lumotlar olish imkonini beradi. XX asrgacha ko'p asrlardan beri astronomlar faqat optik diapazonda kuzatuvlar olib borilgan. Biroq, XX asrga kelib koinotni o'rganish rentgen nurlar, radioto'lqinlar, ultrabinafsha vva gamma nurlar yordamida kuzatuvlar olib borish imkonini beruvchi teleskoplar orqali xam amalga oshirila boshladi. XXI asrda esa gravitatsion to'lqinlarni qayd etish yangi gravitatsion to'lqin astronomiyasini yaratilishi va rivojlanishi bilan bog'liq bo'ladi. Ushbu yangi soxa yordamida turli kompakt gravitatsion ob'ektlar – qora o'ralar, neytron yulduzlar va boshqa ob'ektlar tabiati, ichki tuzilishi xaqida to'laroq ma'lumot olish mumkin bo'ladi.

Aytish joizki, 2019 yil aprel oyida olimlar neytron yulduzning qora tuynukka qulashidan hosil bo'lgani taxmin qilingan kuchsiz signalni qayd qilgan edi; biroq buni qat'iy dalillashning iloji bo'lmayotgandi. Ma'lum qilinishicha,

olingan yangi natijalar yetarlicha ishonchli bo'lib, endi neytron yulduz va qora tuynuk to'qnashuvidan yuzaga kelgan mavjlanishga shubha qilmasa ham bo'ladi. Kuzatuvlarda ishtirok etgan olimlar qayd etilgan gravitatsiya to'lqini bizdan 900 million yorug'lik yili masofada joylashgan neytron yulduzning o'ziga yaqin bo'lgan qora tuynukka borib qulashidan hosil bo'lgan va jarayonni ular osmonning 23 kvadrat gradus bilan chegaralangan qismidan qayd etgan. Bu juda katta miqyos bo'lib, taqqoslash uchun aytadigan bo'lsak, masalan Oy Yerdagi kuzatuvchiga nisbatan osmonning faqat 0,2 kvadrat gradus qismini egallaydi. Agar astronomlar mazkur 23 kvadrat gradus osmon qismidan shu hodisaga aloqador chaqnashlarni va yoki nurlanishlarni qayd etsa, bu kashfiyot haq ekanini yanada tasdiqlaydigan faktga aylanadi. Olimlar shu va shu kabi qo'shaloq tizimlar to'qnashuvidan hosil bo'lgan gravitatsion mavjlanishlarni kuzatish orqali Xabbl doimiysining aniq qiymatini belgilash hamda Koinotning kengayish tezlanishini, shuningdek, mavhum energiya (qora energiya) tabiatini yanada chuqurroq o'rganishni maqsad qilgan.

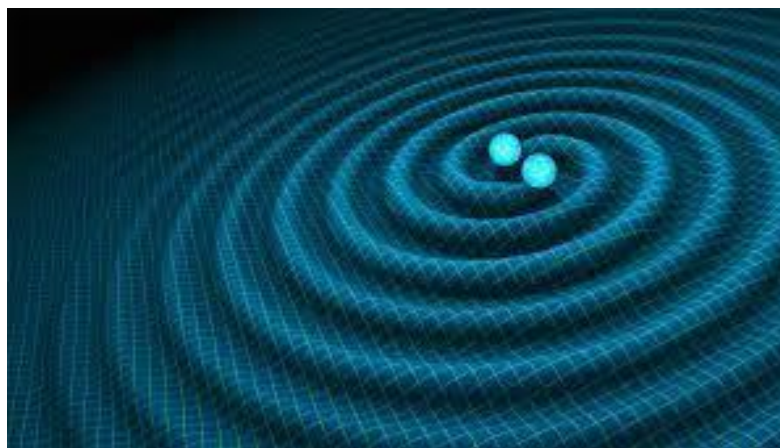
6.4. Gravitatsion to'lqinlarni qayd qilish

Gravitatsiyaviy to'lqinlarning mavjudligi birinchi marta 1916 yilda taxmin qilingan Albert Yeynshteyn tomonidan umumiy nisbiylik asosida. Ushbu to'lqinlar tortishish maydonidagi to'lqinlar kabi tarqaladigan o'zgarishlarni aks yettiradi. Gravitatsiyaviy to'lqin ikki jism orasidan o'tganda, ular orasidagi masofa o'zgaradi. Ushbu masofadagi nisbiy o'zgarish to'lqin amplitudasining o'lchovi bo'lib xizmat qiladi. Aniqrog'i, detektorning o'ziga xos yo'nalishida tortishish to'lqini, birinchi yaqinlashuvda, kosmos vektori tomonidan belgilangan masofada



yerkin osilgan juftlikdan ikkinchi jismga ta'sir qiluvchi Nyuton kuchi sifatida qaralishi mumkin.

Gravitatsion to'liqin detektori (tortishish to'liqlari teleskopi) - bu tortishish to'liqlarini aniqlash uchun mo'ljallangan texnik qurilma. Umumiy nisbiylikka ko'ra, tortishish to'liqlari, masalan, koinotning biron bir joyidagi ikkita qora tuynuklarning birlashishi natijasida, fazoviy vaqtning o'zi tebranishi tufayli sinov zarralari orasidagi masofalarning o'ta zaif davriy o'zgarishini keltirib chiqaradi. Sinov jismlarining bu tebranishlari detektor tomonidan qayd qilinadi. Bundan tashqari, bunday detektorlar geofizik tabiatning tortishish buzilishlarini o'lchashga qodir. Masalan, LIGO va VIRGO interferometrlarida sidereal davriylik bilan modulyatsiyalar qayd yetildi. Yeng keng tarqalgan ikki turdagi tortishish to'liqlari detektorlari. 1967 yilda Jozef Weber (Merilend universiteti) tomonidan kashshof qilingan turlardan biri bu tortishish antennasi - odatda past haroratgacha sovutilgan massiv metall bar. Detektorning o'lchamlari unga tortish kuchi to'liqini tushganda o'zgaradi va agar to'liqinning chastotasi antenaning rezonans chastotasiga to'g'ri keladigan bo'lsa, antenna tebranishlarining amplitudasi shunchalik kattalashishi mumkinki, tebranishlarni aniqlash mumkin. Weberning kashshof tajribasida antenna po'lat simlarga osilgan, uzunligi 2 m va diametri 1 m bo'lgan aluminiy silindr yedi; antenaning rezonans chastotasi 1660 Hz, piezoelektrik datchiklarning amplituda sezgirligi 10-16 m yedi. Veber tasodiflar uchun ishlaydigan ikkita detektordan foydalangan va signal aniqlanganligi haqida xabar bergan, ularning manbasi katta yehtimollik bilan markaz Galaxy. Biroq, mustaqil tajribalar Veberning kuzatuvlarini tasdiqlamadi. Hozirgi vaqtda ishlaydigan detektorlardan MiniGRAIL sharsimon antenna (Leyden universiteti, Gollandiya), shuningdek ALLEGRO, AURIGA, YeXPLORER va NAUTILUS antennalari ushbu prinsip asosida ishlaydi.



Yuqorida tavsiflangan detektorlarning turlari past chastotali tortishish to‘lqinlariga sezgir (10 kHz gacha). Yaqin ikkilik turidagi tortishish to‘lqinlarining davriy manbalariga mos keladigan undan ham past chastotali signal (10^{-2} – 10^{-3} Hz) optik-metrik parametrli rezonans ta‘siriga asoslangan usul yordamida qayd yetilgan bo‘lishi mumkin [3]. [4]. Tajribada odatdagi radio teleskop yordamida kosmik radio manbalarni (maserlarni) kuzatishlari qo‘llaniladi. Gravitatsiyaviy to‘lqin detektorlarining yuqori chastotali versiyalari ham ishlab chiqilmoqda, masalan, ikkita intervalli osilatorning o‘zaro chastotali siljishi yoki mikroto‘lqinli nurlarning qutblanish tekisligining aylanish sikli qo‘llanmasida aylanishi asosida.

Gravitatsiyaviy nurlanishni yeletromagnitga aylantirish orqali kondensatsiyalangan dielektrik muhit tomonidan yuqori chastotali tortishish to‘lqinlarini aniqlash jarayoni yehtimoli to‘g‘risida gipoteza ilgari surildi.

Nazorat savollari:

1. Ikki qora o‘ra to‘qnashuvidan nimani kuzatish mumkin?
2. Gravitatsion to‘lqinlar manbalari nimalar?
3. Gravitatsion to‘lqin qayd qilgichlari qanday ko‘rinishda bo‘ladi?
4. Gravitatsion to‘lqinlar qachon qayd etildi?
5. Gravitatsion to‘lqinlarning oddiy to‘lqindan farqi.
6. Interferometr nima?
7. Gravitatsion to‘lqinlarning tutulishi bizga nima beradi?
8. Ikkita kompakt ob‘ekt to‘qnashmasa ham gravitatsion to‘lqin hosil

bo‘ladimi?

9. Gravitatsion to‘lqinlarning kashf etilishi.
10. Gravitatsion to‘lqin observatoriyalari.

7-Mavzu: O‘TA MASSIV QORA O‘RALAR

REJA

- 7.1. Galaktika markazidagi o‘ta massiv qora o‘ralar.
- 7.2. Aylanuvchi qora o‘ralar atrofida optik jarayonlar.
- 7.3 Aylanuvchi qora o‘ralar atrofida energetik jarayonlar.

Tayanch iboralar: o‘ta massiv qora o‘ra, aylanuvchi qora o‘ra, energiya ajralishi, akkresiya diski.

7.1. Galaktika markazidagi o‘ta massiv qora o‘ralar

Astronomlar insoniyat tarixidagi qora tuynukning ilk suratini turli qit‘alarda joylashgan sakkizta – Shimoliy Amerika, Havayi, Yevropa, Janubiy Amerika va Janubiy qutbga o‘rnatilgan radioteleskop yordamida olishga muvaffaq bo‘ldi. Ushbu qora tuynuk Messier 87 (M87) galaktikasida joylashgan bo‘lib, 200 milliardlab yulduzlarni o‘zida tutib turadi. U Yerdan 55 million yorug‘lik yili masofada joylashgan. Bu soniyasiga 300 ming kilometr tezlikka ega yorug‘lik nuri qora tuynukka 55 million yilda yetib borishini anglatadi.

Fotosurati olingan qora tuynukning massasi Quyoshnikidan 6,5 milliard marta katta. Quyosh massasi esa Yernikidan 333 ming marta katta. Bizning Somon Yo‘li galaktikamiz markazidagi O‘qotar A* supermassiv qora tuynuk undan ancha kichik – taxminan 4,5 million Quyosh massasiga teng. Yana bir jihati bu qora tuynuk koinotdagi eng kattasi emas.

Yorug‘ halqaning bir qismi qalinroq va yorqinroq ekanligi qora tuynukning atrofidagi plazma soat mili yo‘nalishida yorug‘lik tezligiga yaqin tezlik bilan

aylanayotganidan dalolat beradi – Doppler beaming effektiga binoan biz tomonga xarakatlangan modda yorqinroq ko‘rinadi. Biroq, M87 qora tuynugining xususiy aylanish tezligini aniq hisoblash uchun tasvir sifati hozircha yetarli emas. Bu kichkinagina surat – umumiy nisbiylik nazariyasining yana bir tasdig‘i va odamzotning olam to‘g‘risidagi tasavvurlari to‘g‘ri ekanining isbotidir. Kashfiyotning ilm-fandan tashqarida ham katta ahamiyati bor.

Tarixdan bugungacha. Zamonaviy fizikaning ikki katta «farzandi» bor. Shulardan biri – koinot katta miqyosda qanday ishlashini tushuntirib beradigan umumiy nisbiylik nazariyasi. 1915 yilda Albert Eynshteyn tomonidan e‘lon qilingan bu g‘oyaga ko‘ra, gravitatsiya, ya‘ni butun olam tortishish kuchi aslida massa ta‘sirida fazo va vaqtning egrilanishidir. Massaga ega bo‘lgan har qanday jism o‘zi atrofida fazo va vaqtni egrilaydi, massa qancha katta bo‘lsa, egrilik ham shuncha kuchli bo‘ladi.

Eynshteyn maydon tenglamalarining birinchi aniq yechimini nemis fizigi Karl Shvarsschild topgan. Uning yechimini 1939 yilda Tolmen – Opengeymer - Shnayder shar shaklida taqsimlangan chang moddaning kollapsini va atrofida fazo-vaqt egriligini o‘rganayotib g‘aroyib bir natija olgan: berilgan massali modda ma‘lum bir o‘lchamgacha siqilsa, uning tortishish kuchini yengib bo‘lmay qoladi, moddaning hammasi markazdagi bir nuqtada to‘planadi, uning atrofida esa faraziy matematik sirt – hodisalar gorizonti hosil bo‘ladi. Bu faraziy sirt «ichkariga» o‘tgan har qanday narsa qaytib chiqa olmaydi, hatto yorug‘lik ham. Aynan shu sababli bunday jismlar keyinchalik o‘tgan asrning 60 yillarida Amerikalik olim Jon Archibald Uiller tomonidan «qora tuynuk»/«qora o‘ra» deb nom olgan.

Shu paytgacha qora tuynuklar (yoki ularga juda o‘xshash jismlar) mavjudligiga ko‘plab dalillar topilgan, lekin ular bevosita kuzatilmagan edi. Shu o‘rinda «qora tuynukdan yorug‘lik ham chiqmasa, uni qanday kuzatish mumkin» degan savol tug‘ilishi tabiiy. Gap shundaki, odatda qora tuynuklar atrofida u yon-atrofdan «sug‘urib» olgan moddaning qoldiqlari – chang va gaz to‘dalari bo‘ladi. Modda qora tuynukka qulab tushayotganida unga yaqinlashgan sayin uning atrofida tobora tezroq aylanib, katta haroratlarga qiziydi va o‘zidan nurlanish

chiqara boshlaydi. Bundan tashqari, koinotdagi milliardlab manbalardan chiqayotgan nurlanish ham qora tuynukning yonidan o'tadi. Hodisalar gorizonti yaqinida gravitatsiya juda kuchli bo'lgani sabab nurlarning yo'li egrilanadi, ya'ni qora tuynuk o'ziga xos linza vazifasini o'tab, nurlanishni fokuslaydi va yaqinlashgan fotonlarni yutib yuboradi. Natijada biz u tomon qaraganda yorug' halqa ichidagi qora dog' – o'ziga xos sharpani ko'ramiz. Sharpaning shakli qora tuynukning parametrlariga bog'liq ravishda turlicha bo'lishi mumkin, va uning geometrik parametrlari asosida qora o'raning fizik parametrlarini aniqlab bo'ladi. Demak, qora tuynuklarni topishning bir yo'li – umumiy nisbiylik nazariyasi doirasida hisob-kitoblar orqali sharpaning shakli qanday bo'lishi mumkinligini aniqlash va osmonda shunga o'xshash ob'ektlarni qidirish.

Biroq yulduz massasidagi qora tuynuklar odatda juda kichik (masalan, bizning Quyoshimiznikidek massaga ega bo'lgan qora tuynuk radiusi atigi 3 kilometrga teng bo'ladi), shu sababli kuzatish uchun galaktikalar markazlarida joylashgan o'ta massiv qora tuynuklar afzalroq. Lekin bir radioteleskopda qora tuynuk sharpasini ko'rishning iloji yo'q – buning uchun teleskop o'lchami Yer kurrasiga barobar bo'lishi kerak. Chunki ko'rinma o'lchamlari eng katta bo'lgan ikkita qora o'raning sharpasi Oyning ko'rinma kattaligidan million barobar kichik bo'ladi.

Event Horizon Telescope (hodisalar gorizonti teleskopi) loyihasi bu masalani standart usulda hal qildi – Yer bilan barobar bitta katta teleskopni ishlatish o'rniga Yerning turli joylarida joylashgan sakkizta radioteleskopdan foydalanish rejalashtirildi. 2017 yil aprel oyining boshida radioteleskoplarning har biri joylashgan hududda ob-havo kuzatish uchun qulay bo'ldi va to'rt kun davomida bu teleskoplar M87 galaktikasi markazini kuzatdi. Bunda olingan axborot hajmi shunchalik katta ediki, ularni tarmoq orqali jo'natishning iloji yo'q edi (buning ustiga, ba'zi radioteleskoplar joylashgan hududlarda tarmoq yo'q, masalan Antarktidada), shu sababli olingan ma'lumotlar qattiq disklarga yozilib, katta konteynerlarda kema va samolyotlar orqali AQShdagi Massachussets texnologiyalar institutining Heystek observatoriyasi va Bonndagi Maks Plank

radioastronomiya instituti markazlariga yetkazildi. Bu markazlarda ma'lumotlar to'g'riligi va butunligi qattiq tekshirilgach, ular tasvirni tiklash uchun olimlarga berildi. Tasvir ustida bir necha guruh bir-biridan mustaqil ravishda ishladi (inson omili ta'sirini kamaytirish uchun). Shu bilan bir vaqtda nazariyotchilar tabiatda mavjud bo'lishi mumkin bo'lgan minglab holatlar uchun qora tuynuk sharpasi qanday bo'lishi mumkinligini superkompyuterlarda modellashtirib, nazariy tasvirlarni hosil qildi. Kuzatuv natijalari nazariy hisob-kitoblarga mos kelgach, ilk bor qora tuynuk mavjudligi isbotlanib ommaga taqdim etildi.

7.2. Aylanuvchi qora o'ralar atrofida optik jarayonlar

Bu dunyo ilm-fani uchun muhim yangilik bo'lganidan bir vaqtning o'zida olti shaharda (Bryussel, Vashington, Santyago-de-Chili, Taypey, Tokio va Shanxay) matbuot konferensiyasi tashkil qilinib, surat haqida jurnalistlarga ma'lum qilindi. Shu vaqtga qadar qora tuynuklar to'g'risidagi bilimlarimiz faqat nazariy bo'lib kelgan edi. Ularning mavjudiyati mutlaq ilmiy gipoteza hisoblanib, ayrimlar bu gipotezaga ishonqiramay qaragan ham.

Olimlar qora tuynuklar mavjudligini bilmaganmi? Aniqroq aytganda, bunga olimlarning ishonchi yuz foiz komil bo'lmagan. Shu paytgacha qora tuynuklarni insoniyat ixtiyorida mavjud imkoniyatlar bilan kuzatishning imkoni tug'ilmagan. Buni chaqmoq va momaqaldiroq misoli bilan jo'nroq tushuntirish mumkin. Biz chaqmoqning zarba to'lqini kuchli gumburlash hosil qilishini bilamiz va bu shovqinni momaqaldiroq sifatida qabul qilamiz. Biroq ikkala tabiat hodisasi bir-birisiz mavjud bo'la olmaydi. Ammo chaqmoq quyuq bulutlar ichida yoki osmono'par binolar ortida ham kechishi mumkin. Bunday holatda faqat gumburlashni eshitamiz va chaqmoqning o'zini ko'rmaymiz, lekin qaerdadir chaqmoq sodir bo'lganini ishonch bilan ayta olamiz. Chunki buni boshqacha izohlab bo'lmaydi. Bugungi kungacha qora tuynuklar bilan ham o'xshash vaziyat kuzatilgan. Ularning mavjudiyati ilmiy farazlar orqali (ilk bor XVIII asrning oxirida) bashorat qilingan va bu ko'p marta turli hisob-kitoblar orqali tasdiqlangan. Biroq olimlar qo'lida ushbu gipotezani isbotlaydigan «ashyoviy dalillar» yo'q edi. Endi esa bor.

Suratga olishga nima xalal berib kelayotgan edi?Gap shundaki, o‘z nomi bilan qora tuynukni qurollanmagan ko‘z yoki boshqa jihozlar bilan ko‘rishning imkoni yo‘q. Biz faqat yorug‘lik nurini qaytargan ob‘ektlarnigina ko‘ra olamiz, xolos. Tasavvur qiling, zimiston xonadasiz. Bunday xonada nimani ko‘rish mumkin? Albatta, hech narsani. Hatto, xona narsalar bilan to‘ldirilgan bo‘lsa ham, siz ularni ko‘ra olmaysiz, faqat paypaslab, his qilishingiz mumkin. Qorong‘i xonada tungi ko‘rish asbobidan foydalanishingiz mumkin: u ko‘rinmas infraqizil nurlarni tutib, ularni ko‘zimizga moslab beradi. Biroq qora tuynukning tortish kuchi shu qadar ulkanki, uni qo‘limizda mavjud teleskoplariga mos hech qanday nurlanish yengib o‘ta olmaydi – na radioto‘lqinlar, na rentgen nurlari yoki gamma nuri.

U holda qora tuynuk qanday qilib suratga olindi?Aniq qilib aytganda, suratda qora tuynukning o‘zi emas, balki uning faraziy «tashqi qobig‘i» aks etgan. U hodisalar gorizonti (Event Horizon), deb ham ataladi. Ichki qismda qora tuynukning tortish kuchi hech qanday ma‘lumotning chiqib ketishiga yo‘l qo‘ymaydi, lekin tashqarida nurlarning tortish kuchidan xalos bo‘lish imkoniyati mavjud. Radioteleskoplarining murakkab tizimidan tashkil topgan Event Horizon Telescope (EHT) loyihasi qora tuynuk tomonidan yutilmagan, aynan hodisalar gorizonti tashqarisidagi turg‘un orbita bo‘ylab yurgan nurlarni suratga olishga muvaffaq bo‘lgan. Olimlar mazkur loyiha doirasida qora tuynukni «tutish»ga uzoq yillardan buyon urinib kelayotgan edi. Yig‘ilgan ma‘lumotlar shunchalik ko‘pligidan ularni internet orqali uzatishning imkoni bo‘lmagan va ma‘lumotlar saqlangan yuzlab qattiq disklar samolyotlarda tashilgan. Bir so‘z bilan aytganda, qora tuynuk Eynshteyn nazariyasi haqligini isbotladi.

Suratda nimani ko‘rish mumkin?Qop-qora tuynukni o‘rab turgan «olovli halqa» aql bovar qilmas darajada qizigan va qora tuynuk tomonidan yutilayotgan gazning hosilasidir. Gaz shu qadar kuchli nur taratganidan, shu galaktikada joylashgan milliardlab yulduzlarni to‘shib qo‘yadi. Hodisalar gorizonti ichidagi qora bo‘shliqda bizga ma‘lum fizika qonunlari ishlamay qoladi. Xulosa o‘rnida shuni takidlash joizki, qora tuynuklar – o‘zida ko‘plab sinoat yashirib kelayotgan

Koinotning jumboqli ob'ektlaridir. Ko'pgina bahs 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. Darvoqe, quvonarlisi, loyihaning uch katta tarmog'idan biri bo'lgan nazariya va modellashtirish ishlarida bizning olimlar ham qatnashgan. O'zbekiston Fanlar akademiyasi Astronomiya institutining professori Bobomurot Ahmedov boshchiligidagi nazariy astrofizika bo'limi hodimlari EHT loyihasining nazariya va modellashtirish ishlarida ishtirok etib, qora tuynuklar sharpalariga tegishli hisob-kitoblarni bajargan va o'ttizdan ortiq qora o'raning optik xususiyatlariga bag'ishlangan ilmiy maqolalar dunyoning eng nufuzli jurnallarida chop etilgan va xavolalar orqali dunyo ilmiy jamiyati tomonidan e'tirof etilgan. Masalan, bo'lim yosh xodimlaridan biri fizika – matematika fanlari doktori Ahmadjon Abdujabborov esa sharpalarni tavsiflash uchun yangi matematik formalizm yaratgan.

7.3 Aylanuvchi qora o'ralar atrofida energetik jarayonlar

Zamonaviy fan bizgaso'navchi 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 sohib 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. Har bir yulduz o'zining markazga tortuvchi gravitatsiyasi va unga qarama qarshi yo'nalishlardagi ichki bosim kuchlari bilan muvozanatga ega. Bu muvozanat yonilg'i temirga aylanadigan vaqtgacha saqlanadi. Gravitatsiya bosim kuchlaridan kattalashadi va yulduz siqila boshlaydi.

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

boʻlganidan to yadro yonilgʻi resurslari yulduz boʻlib nur sohib turishiga yetarli boʻlmay qolishigacha boʻlgan vaqtdir. Bu vaqt har bir yulduzning massasiga bogʻliqdir. Xususan, eng yaqin yulduz- bu 4,5 milliard yillardan beri yadro sintezi jarayoni xisobiga hozirda oʻzining aktiv bosqichida boʻlgan Quyoshdir va uning yonilgʻi zahirasi yana 4,5 milliard yilga yetadi. Quyosh oʻz yonilgʻisini sarflab tugatayotgan bosqichda oʻzining gravitatsiyasi hisobidan Yer sayyorasi oʻlchamidan katta boʻlmagan oʻlchamgacha siqiladi. Bunda u xosil boʻlgan elektron gaz bosimi bilan muvozanatlashgandan soʻng siqilishdan toʻhtab oq karlikka aylanadi. Massasi Quyosh massasidan 3-5 marta katta boʻlgan Yulduzlar oʻz 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 ogʻirroq va koʻproq vodorod yonilgʻi zahirasiga ega boʻlgan yulduzlar kuchli gravitatsiya kuchlari taʼsiri ostida tez yonadi va yashash vaqti ham qisqa boʻladi. Massasi jihatdan yirik boʻlgan yulduzlar tom maʼnoda bir necha million yil davomida “yonib turadi”, mayda yulduzlar esa yuzlab milliard yillar davomida “yashaydi”. Shunday ekan, bu maʼnoda bizning Quyosh “mustaxkam oʻrta” likka kiradi.

Nazariy jihatdan yulduzlar dastlabki massalariga bogʻliq holda uch hil koʻrinishda hayotini yakunlaydi: 1. Agar yulduz yadrosining dastlabki massasi Chandrasekar chegarasi deb ataladigan (tahminan) 1.4 Quyosh massasidan kichik boʻlsa qisqa vaqt qizil gigant holatidan keyin oq karlikka aylanadi. Oq karlik holida bir kecha million yillar yashab sovuq qora karlikka, yaʼni haqiqiy kosmik oʻlik jism- yulduzning murdasiga aylanadi. 2. Agar yulduzning dastlabki massasi Chandrasekar chegarasidan oshib Volkov chegarasi deb ataladigan tahminan 2-3 Quyosh massasidan katta boʻlsa, yadro yonilgʻisining asosiy qismi kamayishidan keyin elektron gazning bosimi qarshilik qila olmagach gravitatsiya kuchlari taʼsiri ostida tashqi qatlami yulduzning markaziga tushadi. Buning natijasida yulduz hajmi 100000 marta kamayadi, uning oʻrtacha 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 kuzatiladi. Bu Xitoy va Yapon tarixida aytib o'tilgan 1054 yilda xozirda markazida neytron yulduz joylashgan Krabovid tumanligi o'rnida yorqin yulduz kabi yarqirab, ikki hafta davomida hattoki kunduzlari ham ko'rinib turgan. Shuni aytib o'tish joizki 17 asrda optik teleskop kashfiyotiga kadar atigi beshta o'ta yangi yulduz kuzatigan va ulardan bittasi 1006 yilda Ibn Sino tomonidan kashf etilgan 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, gravitatsion kollaps qaytmas bo'lib qoladi. 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'ektlardan 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 gravitatsion o'lchamidan kichik bo'lganda sodir bo'ladi. Gravitatsion radius Quyosh uchun 3km, Yer uchun esa 9mm 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.

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

Nazorat savollari:

1. Qanday massali qora o‘rani o‘ta massiv deb ataymiz?
2. O‘ta massiv qora o‘ralarning mavjudligini kim bashorat qilgan?
3. O‘ta massiv qora o‘ralar galaktikaning qaerida kuzatiladi?
4. O‘ta massiv qora o‘ralar qanday shakllanadi?
5. Faol yadroli galaktika markazidagi o‘ta massiv qora o‘ra atrofida nima hosil bo‘ladi?
6. O‘ta massiv qora o‘ralarning aylanishi ulardan nima ajralib chiqishiga olib keladi.
7. O‘ta massiv qora o‘ralarni kuzatishda qaysi elektromagnit to‘lqin diapazonlaridan foydalanish mumkin?
8. Akkresiyalanish nima?
9. Qanday holda O‘ta massiv qora o‘ra atrofida akkresiya diski hosil bo‘ladi?

IV. AMALIY MASHG‘ULOTLARINING MAZMUNI

1-amaliy mashg‘ulot. Katta portlash va inflyatsiya.

Katta portlash va inflyatsiya. Olamning rivojlanishidagi hal qiluvchi bosqichlar, elementar zarralar shakllanishi va barion moddaning ustunligi asimmetriyasi.

Kosmologiya - bu koinotning fizik nazariyasi bo‘lib, kuzatiladigan ma’lumotlarga va nazariy xulosalarga asoslanadi. Kosmologik modellarni yaratishda tortishish va elementar zarrachalarning zamonaviy fizik nazariyalari qo‘llaniladi. Ular ma’lum kuzatuv faktlarining umumiyligini tavsiflashga intilishadi.

Kosmologiyaning rivojlanish bosqichlari

1. Nyuton qonunlariga asoslangan bir xil izotropik olam modeli.
2. Umumiy nisbiylik nazariyasi tenglamalariga asoslangan nostatsionar Olam modeli A. Fridman tomonidan olingan (1922).
3. Issiq Olam modeli G. Gamov tomonidan yaratilgan (XX asrning 40-yillari).
4. Inflyatsion koinot modeli A.D.Linde, Starobinskiy va boshqalar asarlarida ishlab chiqilgan (XX asrning 70-yillari).
5. 1998 yildan beri qorong‘u energiya ta’sirida galaktikalarning tezlashtirilgan turg‘unligini hisobga olgan holda modellar ko‘rib chiqilmoqda.

2-Amaliy mashg‘ulot. Qorong‘i materiya va qorong‘i energiya.

Qorong‘i materiya va qorong‘i energiyani baholash bo‘yicha masalalar ishlash. Koinotning yezlanish bilan kengayishini taxlil qilish.

Bugungi kunda dunyoda qora o‘ralar atrofida astrofizik jarayonlarga ko‘p olimlar tomonidan e’tibor qaratilmoqda. Qora o‘ralar – Koinotda o‘zining kichik o‘lchami va katta massasi bilan boshqa osmon jismlaridan ajralib turuvchi hamda zamonaviy fizikaning bor chiroyi va ekstremalligini namoyon etuvchi ekzotik astrofizik ob’yektdir. Koinotda eng qorong‘i ob’jekt bo‘lgani holda qora o‘ralar atrofidagi fazo-vaqtni egrilab, u yerdagi moddalarni yuqori haroratgacha qizdiradi hamda eng yorqin, yuqori quvvatli va o‘ta massiv ob’yektlar hisoblanadi. So‘nggi yillardagi kuzatuv va eksperimental asboblarning rivojlanishi bilvosita va bevosita

bunday ob'yektlarning tabiatda mavjudligini tasdiqladi.

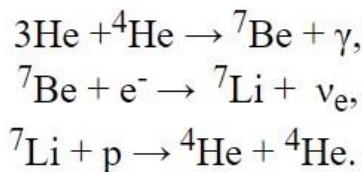
Hozirgi kunda yetakchi tadqiqotchilar tomonidan dissertatsiya mavzusi bilan bog'liq bo'lgan va ularning dolzarbligi va zaruratini belgilab beruvchi qator muhim kashfiyotlar o'cxilgan. 2019 yil aprel oyida Hodisalar gorizonti teleskopi (YeNT - Event horizon telescope) yordamida ilk bor M87 (Meisser 87) galaktikasi markazida joylashgan qora o'raning tasviri 1.3 mm li to'lqin uzunligi diapazonida olindi. 2018 yilning iyul oyida "Muz-kub" neytrino observatoriyasi (Ice Cube Neutrino Observatory)da Galaktikamiz tashqarisidan kelayotgan yuqori energiyali neytrinolar topilganligi to'g'risidagi muhim kashfiyot e'lon qilindi va neytrinolarning manbai bizdan taxminan 1.75 Gpk masofadagi relyativistik djeti bizga tomon yo'nalgan o'ta-massiv qora o'ra – blazarni aniqlash imkonini berdi. Yuqori energiyali neytrinolar birlamchi kosmik nurlarning atrofidagi muhit yoki fotonlar bilan adron o'zaro ta'siri natijasida paydo bo'ladi. Energiyasi $\sim 10^{15.5}$ eV gacha bo'lgan kosmik nurlar odatda galaktik yangi yulduzning portlashidan paydo bo'ladi deb hisoblanadi. 2018 yilning may-iyul oylarida Yevropa janubiy observatoriyasidagi (ESO) juda katta teleskop (Very Large Telescope)ning bir qismi bo'lgan GRAVITY qurilmasi yordamida spektrning infraqizil qismida qora o'ra yaqinidagi harakatlanuvchi materiya kuzatildi va uning tezligi yorug'lik tezligining 30 foizini tashkil etishini ko'rsatdi. 2018 yil o'rtalarida A. Eynshteyn tomonidan yaratilgan umumiy nisbiylik nazariyasi (UNN)ni o'ta massiv qora o'ra atrofida aylanuvchi S2 yulduzi harakatining kuzatuv yordamida muvaffaqiyatli tekshirish natijalari e'lon qilindi. Bundan tashkari 2015 yildan boshlab lazer interferometri observatoriyalarida bir necha bor qora o'ralarning va neytron yulduzlarning qo'sxilishi natijasida vujudga kelgan gravitatsion to'lqinlarning qayd etilgani e'lon qilindi.

1- **Masala.** Yer sirtiga Quyoshdan keladigan neytrinolar oqimini baholang.

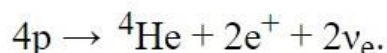
Yechish: Quyosh energiyasining chiqarilishi asosan vodorod aylanishi yoki vodorod zanjiri deb ataladigan reaksiyalar natijasida yuzaga keladi. Ushbu zanjirning asosiy reaksiyalari quyidagicha

Ushbu reaksiyalar jarayonida 24,6 MeV energiya ajralib chiqadi. Ushbu

zanjirning qo‘shimcha tarmoqlari ham mavjud



Biroq, boshida ko‘rsatilgan zanjir asosiy hisoblanadi. Qisqacha uni quyidagicha yozish mumkin



Shunday qilib, Quyosh chiqaradigan har bir $Y_e = 24,6$ MeV energiya uchun ikkita neytrino to‘g‘ri keladi. Quyoshning yorqinligi $W = 4 \cdot 10^{33}$ erg/s, Yer orbitasining radiusi $R_Z = 1,5 \cdot 10^{13}$ sm. Quyoshdan vaqt birligida chiqadigan neytrinolarning umumiy soni $N = 2 W / Y_e$ ga teng. Radiusi Yerning orbitasi radiusiga teng bo‘lgan sferaning yuzasi

$$S = 4\pi R_Z^2.$$

Shunda Yer orbitasida neytrino oqimi zichligi bo‘ladi

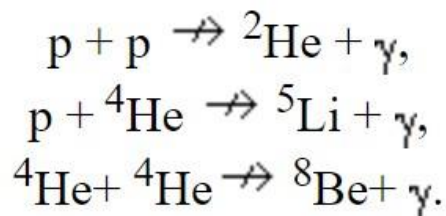
$$\begin{aligned} J &= \frac{2W}{4\pi R_Z^2 E} = \\ &= \frac{2 \text{ нейтрино} \times 4 \cdot 10^{33} \text{ эрг/с}}{4 \times 3.14 \times (1.5 \cdot 10^{13} \text{ см})^2 \times 24.6 \text{ МэВ} \times 1.6 \cdot 10^{-6} \text{ эрг/МэВ}} = 7 \cdot 10^{10} \frac{\text{нейтрино}}{\text{с} \cdot \text{см}^2}. \end{aligned}$$

2- **Masala.** Nima uchun yulduzlardagi yadro sintezi reaksiyalari kuchsiz o‘zaro ta’sir tufayli yuzaga keladigan $p+p \rightarrow d+e^++\nu_e$ reaksiyasi bilan boshlanadi va bu reaksiya $p+p \rightarrow d+\gamma$ bilan emas, balki elektromagnit ta’sir o‘tkazish natijasida yuzaga keladi yoki kuchli o‘zaro ta’sir natijasida yuzaga keladigan boshqa reaksiyalarmi?

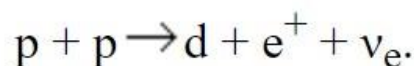
Yechish:

Yadro sintezi reaksiyalari boshlanganda yulduzlar quyidagi kimyoviy tarkibga ega: atomlar soni bo‘yicha 90% vodorod va ~ 10% atomlar geliy. Qolgan elementlarning umumiy tarkibi 1% dan kam.

Ikki proton, ikkita geliy yadrosi yoki proton va geliy yadrosi to‘qnashganda, uzoq umr ko‘rgan bog‘langan atom yadrolari hosil bo‘lmaydi. ${}^2\text{Ne}$ va ${}^5\text{Li}$ yadrolari tabiatda mavjud emas. ${}^8\text{Be}$ yadrosining o‘rtacha yashash davri $\sim 10^{-16}$ sek.



Geliy va vodorod yadrolarining yulduz muhitida yuzaga kelishi mumkin bo‘lgan yagona reaksiya bu zaif o‘zaro ta’sir natijasida deutron hosil bo‘lish reaksiyasi.



Nazariy hisob- kitoblardan kelib chiqadiki, taxminan ~ 1 MeV to‘qnashgan protonlarning kinetik yenergiyasida bu reaksiya kesimi $\sim 10^{-23}$ barnga teng.

$p+p \rightarrow d+\gamma$ reaksiya imkonsiz bo‘lib chiqadi, chunki koinot evolyusiyasining ushbu bosqichida yulduz muhitida neytronlar yo‘q.

3-Amaliy mashg‘ulot. Yulduzlar evolyusiyasi.

Yulduzlarning aylanish burchak momenti, inersiya momenti, massasi, ulargacha bo‘lgan masofa va boshqa turli fizik kattaliklarini baxolash.

1-Masala. Rasmda o‘rta (massa Quyosh massasiga yaqin) va katta yulduzlarning evolyusiyasi ko‘rsatilgan. Raqamlar evolyusiyaning asosiy bosqichlarini ko‘rsatadi. Quyidagi beshta to‘g‘ri fikrdan ikkitasini tanlang va ularning raqamlarini yozing.



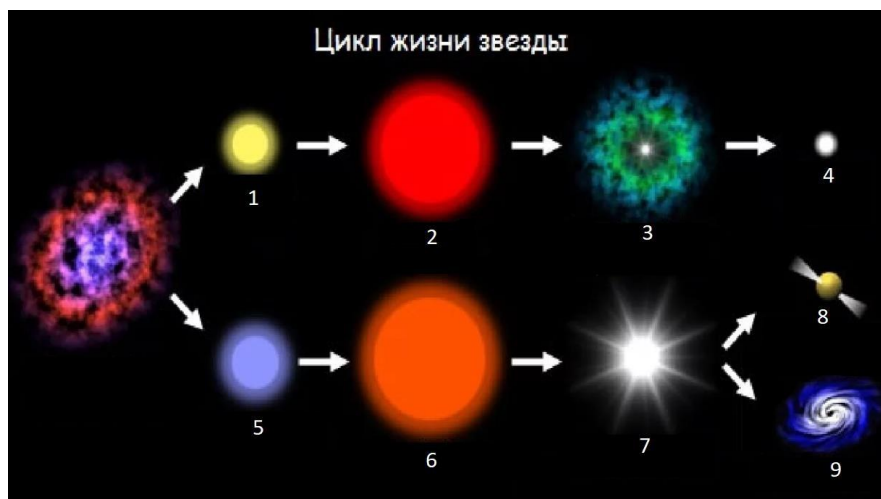
- 1) 1 raqam bilan vodorod yonib ketadigan oʻrta kattalikdagi yulduzning rivojlanishining statsionar bosqichi belgilangan.
- 2) 8 raqam bilan yulduz rivojlanishining dastlabki bosqichi belgilangan.
- 3) 5 raqam bilan oddiy yulduzning qizil gigantga aylanishi belgilangan.
- 4) 4 raqam bilan qora tuynuk belgilangan, unga evolyusiyaning soʻnggi bosqichida katta yulduz aylanadi.
- 5) 7 raqam bilan katta yulduzning portlashi va uning supernovaga aylanishi belgilangan.

Yechish:

- 1- bayonot toʻgʻri. Birinchidan, oʻrta kattalikdagi yulduz geliyga aylanishi bilan vodorodni yoqish jarayonini boshdan kechiradi.
- 2- bayonot notoʻgʻri. Rivojlanishning dastlabki bosqichi chap tomonda va yulduzlar tumanligi deb ataladi.
- 3- bayonot notoʻgʻri. 5 raqamli yulduz tumanligidan katta yulduz hosil boʻlishini bildiradi.
- 4- bayonot notoʻgʻri. Qobiqni chiqarib yuborgan qizil supergigantning yadrosidan oq mitti hosil boʻlish jarayoni koʻrsatilgan.
- 5- bayonot toʻgʻri.

Javob: 1 va 5

2 - Masala. Rasmda oʻrta kattalikdagi (massa Quyosh massasiga yaqin) va katta yulduzlarning evolyusiyasi koʻrsatilgan. Raqamlar evolyusiyaning asosiy bosqichlarini koʻrsatadi. Quyidagi beshta toʻgʻri fikrdan ikkitasini tanlang va ularning raqamlarini yozing.



- 1) 3 raqam bilan vodorod yonib ketadigan oʻrta yulduzning rivojlanishining stasionar bosqichi belgilangan.
- 2) 5 raqam bilan oʻrta kattalikdagi yulduzning rivojlanishining dastlabki bosqichi belgilangan.
- 3) 4 raqam bilan oddiy yulduzning evolyusiyasining soʻnggi bosqichida oq mittiga aylanishi belgilangan.
- 4) 9 raqam bilan qora tuynuk belgilangan, unga evolyusiyaning soʻnggi bosqichida katta yulduz aylanadi.
- 5) 6 raqam bilan oʻrta kattalikdagi yulduzning portlashi va uning supernovaga aylanishi belgilangan.

Yechish:

- 1- bayonot notoʻgʻri. Qizil supergigant tomonidan qobiq chiqarish jarayoni koʻrsatilgan.
- 2- bayonot notoʻgʻri. 5 raqami yulduz tumanligidan katta yulduz hosil boʻlishini bildiradi.
- 3- bayonot toʻgʻri.
- 4- bayonot toʻgʻri.
- 5- bayonot notoʻgʻri. Oʻrta kattalikdagi yulduzlar portlamaydi, ularning rivojlanishi toʻliq yemas.

Javob: 3 va 4

4-Amaliy mashg'ulot.: Gravitatsion to'liqlar.

Qora tuynuklar gravitatsion radiusini aniqlash bo'yicha masalalar yechish. GW150914 ob'yektining gravitatsion to'liqlar orqali ilk bor qayd etilishi. Gravitatsion to'liqlar observatoriyalari: LIGO, VIRGO, KAGRO, LISA (2 soat).

2017 yilda lazerli Interferogravitatsion-metrik ko'rsatkichlar LIGO va Virgo detektorlari birinchi marta ikkita neytron yulduzining to'qnashuvini bevosita kuzatishga muvaffaq bo'lishdi. Gravitatsiyaviy to'liqlar bizga ikkala yulduzning xususiyatlari, shu jumladan ularning vazni va ularning yaqin atrofdagi yulduzlarning tortishish kuchiga qanchalik bardosh bera olishlari to'g'risida bilib olishga yordam berdi. LIGO va Virgo alohida Nashr yetilgan maqolalarga ko'ra, tortishish to'liqlarining ma'lumotlari yordamida neytron yulduzi yadrosining markazini aniqlash mumkin. Ko'p yillar davomida yadroviy fiziklar zich yadro tanasining xususiyatlarini tavsiflovchi holat tenglamasini shakllantirishda qiynalishdi. Neytron yulduzi ichida zich yadro ob'yekti mavjud deb taxmin qilinadi. Fundamental fizika parametrlariga asoslangan bunday tenglama, yulduzlarning massasi va radiusi, yulduzning maksimal og'irligi va boshqa xususiyatlar o'rtasidagi munosabatni baholashga imkon beradi. Zich yadro tanasi juda murakkab bo'lganligi va kuzatishlar natijasida to'planishi mumkin bo'lgan ma'lumotlar kamligi sababli bir qator tenglamalar tuzilgan, ammo ularga asoslangan bashoratlar o'rtasida katta farq bor. Xususan, ular to'g'ri tenglamada massasi 1,4 Quyosh radiusi bo'lgan yulduz 14 km dan kam deb taxmin qilish kerak. bunday tenglamaning muhim parametrlari hisoblanadi yadro simmetriyasining energiyasini ko'rgan. Ushbu parametr yadrodagi proton va neytronlarning nisbati o'zgarganda ularni ushlab turadigan energiyadagi o'zgarishlarni o'lchaydi. Yadroviy simmetriya energiyasi va yadro tanasining zichligi o'rtasidagi bog'liqlik chegaralarini belgilashdi. Bu bog'liqlik tajribalarda yaxshi aniqlanmagan.

Masala: Qanday sharoitda va qanday astronomik ob'yektlarda gravitatsion nurlanish paydo bo'lishi mumkin?

Gravitatsion nurlanish qanday va qanday sharoitda paydo bo'lishini ko'rib chiqaylik. Elektromagnetizm bilan taqqoslaganda, energiya (ya'ni maydonning

amplitudasi sifatida masofada kosmosda pasayish) "gravitatsiya" dipol momenti o'zgarganda sodir bo'ladi, deb o'ylash mumkin. Biroq, yopiq tizimning umumiy momentini saqlab qolish tufayli, dipol nurlanishi sodir bo'lmaydi. Elektrodinamikada kichiklikning navbatdagi tartibida zaryadlarning norelyativistik harakatlari uchun magnit dipolli nurlanish paydo bo'ladi.

Yopiq tizimning umumiy burchak momentini saqlanishi tufayli uning analogi tortishish kuchida ham yo'q. Darhaqiqat, tortishish kuchidagi magnit dipol momentining analogi. Shuning uchun gravitatsion nurlanishining mumkin bo'lgan eng past rejimi bu to'rt kishilikdir.

Agar nurlanish tezligi yorug'lik tezligiga nisbatan kichik bo'lgan massalarning makroskopik harakati natijasida kelib chiqsa, u holda gravitatsion maydonining to'rtburchak yaqinlashishdagi manbadan uzoqroq o'lchamdagi amplitudasi tartibda bo'ladi.

Ushbu ifoda, gravitatsion to'lqinning fizik manbadan mumkin bo'lgan maksimal amplitudasini, masalan, Xabbl masofasidan sm (Quyosh massasidan) bizgacha bo'lganligini aniq ko'rsatib turibdi. Ushbu taxmin ikkinchi avlod ko'p kilometrli lazer interferometrlarining (LIGO-II, YeURO-2008 va boshqalar) rejalashtirilgan sezgirlikni hisoblash asosida yotadi. Elektromagnetizmda bo'lgani kabi, to'lqin (Poynting vektori) tomonidan o'tkaziladigan energiya oqimi maydon kuchining kvadratiga mutanosib bo'lishi kerak, ya'ni. to'lqin maydonining o'zgaruvchan amplitudasi hosilasi kvadrati va shuning uchun nurlangan yenergiya vaqt bo'yicha kvadrupol momentining uchinchi hosilasi kvadratiga mutanosib bo'lib chiqadi. Raqamli koeffitsientni yozmasdan (bu to'rtburchak momentning aniq ta'rifiga bog'liq).

(E'tiborli jixati shundaki, bu ifoda vaqt hosilasini bir necha to'lqin uzunliklari bo'yicha o'rtacha hisoblashni anglatadi, chunki gravitatsion maydonining energiyasini bir nuqtada lokalizatsiya qilib bo'lmaydi).

Endi, miqdorning yorqinligi o'lchoviga ega ekanligini va son jihatdan [erg/s] ga teng ekanligini aytib o'tish joyizdir. Ushbu asosiy miqdor ba'zan "Plank yorqinligi" deb nomlanadi va Plank energiyasini Plank vaqtiga bo'lish yoki har

qanday massa uchun uning tinchlikdagi energiyasini minimal vaqtga bo'lish yo'li bilan hosil qilinadi.

KO'ChMA MASHG'ULOT MATERIALLARI

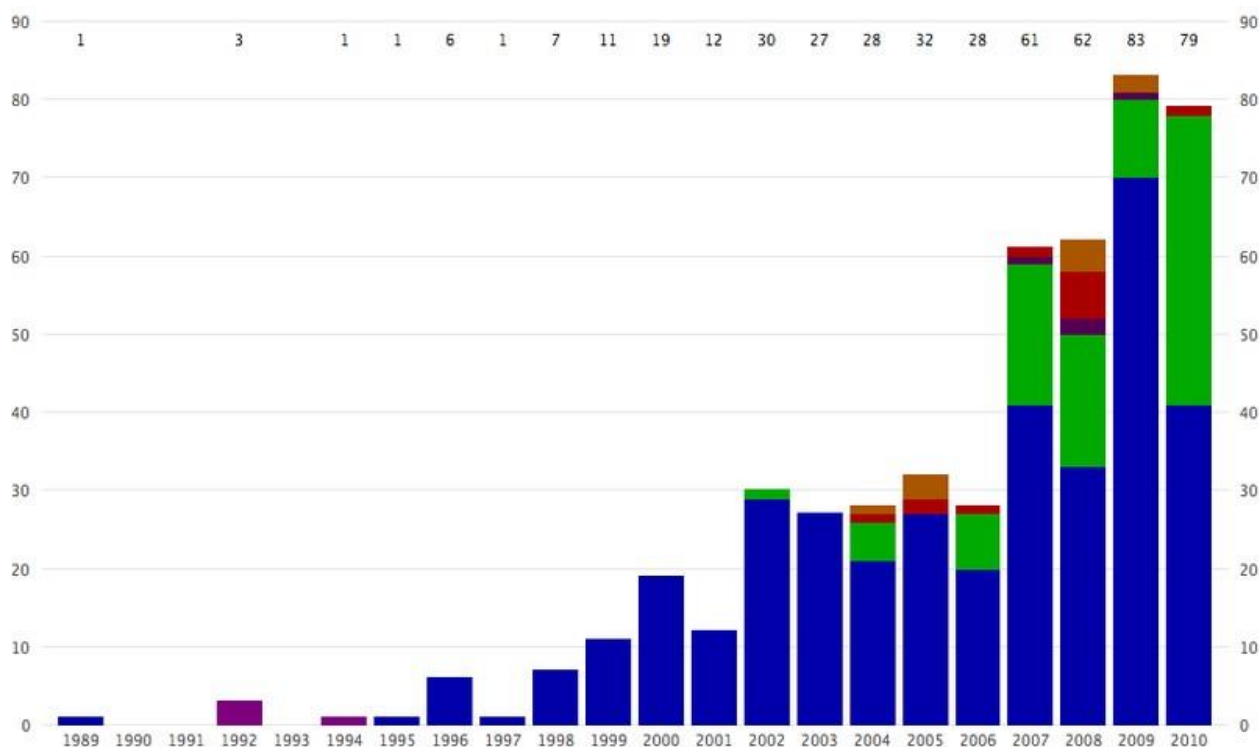
Ko'chma mashg'ulot. Ekzoplanetalar va zamonaviy kuzatuvlar.

Planeta tizimlarining shakllanishi va zamonaviy astronomik kuzatuvlarda ekzoplanetalar qayd etilishi. (4 soat).

O'zbekiston Respublikasi Fanlar Akademiyasi Astronomiya institutida mavzu bo'yicha maxsus dasturlar va uning asboblari bilan tanishish va ko'rish.

Ekzoplanetalar

51 Pegasus tizimidagi birinchi ekzoplaneta spektroskopik usul bilan kashf etilgan bo'lib, uning mohiyati ekzoplanetaning tortishish ta'siridan kelib chiqqan holda ota yulduz spektridagi ko'rish chiziqlarining Doppler siljishini kuzatish va o'rganishdir. (baritsentrning yulduz + ekzoplaneta tizimidagi siljishini spektral kuzatishlar). Spektroskopik usul 2010 yilgacha ekzoplanetalarni kashf qilishning asosiy usuli bo'lgan 1995-2010 yillarda 500 dan ortiq ekzoplanetalarni kashf etgan. 1-rasmda 2010 yil oktabrgacha turli xil usullar bilan yangi ekzoplanetalarni kashf etish xronologiyasi ko'rsatilgan. 2009 yilgacha kashfiyotning asosiy usuli spektroskopik usul (ko'k) bo'lganligi aniq ko'rinib turibdi. 2010 yildan boshlab fotometrik tranzit usuli (yaxsil) kashfiyotlar soni bo'yicha spektroskopik usul bilan faol raqobatlasha boshlaydi. Buning sababi 2009 yil mart oyida Kepler kosmik teleskopining ishga tushirilishi edi.



Shakl.1. 1989-2010 yillarda ekzoplanetalar kashfiyotining xronologiyasi Moviy - spektroskopik kashfiyotlar, yashil - fotometrik kashfiyotlar (tranzit usuli). Qolgan ranglar (dekodlashsiz, kashfiyotlarning umumiy sonining taxminan 5%) to'g'ridan-to'g'ri suratga olish (12 kashfiyot), mikrolensiya (10 kashfiyot), radio pulsarlaridagi vaqt o'zgarishi (4 kashfiyot) va vaqtinchalik o'zgarish kabi kashfiyot usullarini birlashtiradi. boshqa yulduzlar (4 kashfiyot).

2010 yil boshida Kepler kosmik kemasi orbitada sinov sinovlaridan muvaffaqiyatli o'tganidan so'ng ish boshladi. Ekzoplaneta tadqiqotlari tarixida yangi davr boshlandi - fotometrik tranzitlar orqali ekzoplanetalarni kashf etish davri (yulduz + ekzoplaneta tizimidagi tutilishlarning fotometrik kuzatuvlari). Kichkina (2011 yil fevral holatiga ko'ra) bir yil ichida Kepler fotometrik tranzit usuli yordamida 1200 dan ortiq yangi ekzoplanetalarni kashf etdi. Texnik va ilmiy tafsilotlarga to'xtalmasdan, biz ekzoplanetalarni kashf qilish uchun spektral va fotometrik usullarning reytinglarini oddiy taqqoslashni keltiramiz: 15 yil ichida 500 ta sayyora spektral usul bilan (yiliga taxminan 30 ta sayyoraning o'rtacha reytingi) 1200 ta sayyoriga nisbatan. fotometrik usul bilan 1 yilda (yiliga 1000 dan ortiq sayyoralarning o'rtacha reytingi). Shunday qilib, Kepler apparati tranzit usuli spektroskopik usuldan 30 baravar ko'proq samaradorligini aniq ko'rsatdi. Shuning uchun taklif etilayotgan loyihada ekzoplanetalarni o'rganish uchun fotometrik tranzit usullariga ye'tibor qaratilgan.

Tranzit tutilishlarining vaqt bo'yicha o'zgarishi: yangi ekzoplanetalarni oson

topish

Oldingi bobda ta'kidlanganidek, tranzit tutilishlarni fotometrik kuzatishlar yangi ekzoplanetalarni kashf etishda katta ustunlikka ega. Tranzit usulining yana bir shubhasiz afzalligi shundaki, u tizimdagi boshqa ekzoplanetalarni kashf qilish uchun ishlatilishi mumkin, bu endi na spektroskopik, na fotometrik usulda kashf etilishi mumkin bo'lmaydi. Ushbu usul bir necha yil oldin taklif qilingan va tranzit tutilishi vaqtidagi o'zgarishlarni o'rganishga asoslangan (bundan buyon IWT). Ushbu IWT usuli taklif qilingan loyihaning asosini tashkil etadi va quyida qisqacha tavsiflanadi va uni amaliy amalga oshirish bilan bog'liq boshqa tafsilotlar.

Bugungi kunga kelib, fotometrik tranzitlarni namoyish etuvchi ekzoplanetar bilan 1000 dan ortiq yulduz tizimlari topilgan. Tranzitlar - yulduz (ekzoplaneta) tizimidagi asosiy fotometrik tutilishlar (ekzoplaneta) asosiy yulduz diskasi bo'ylab o'tishi (tranziti). Odatda kuzatiladigan tranzit amplitudasi 20-40 millimetr kattalikni tashkil etadi ("issiq Yupiter" kabi sayyoralar tutilishi uchun), odatda tranzit vaqti o'n daqiqadan bir necha soatgacha. Tranzitlar vaqtinchalik o'zgarishlarga (IWT) duch kelishi kutilmoqda - tutilishga kirish va chiqish vaqtidagi assimetriya, tutilishning o'zi davomiyligi, tranzit markazi pozitsiyasi. Nazariyaga ko'ra, IWT tizimda boshqa jismlar borligi sababli tranzit orbitasining bezovtalanishi yoki bezovtalanishi (asosan eksentrik va moyillik burchagi) tufayli yuzaga keladi. Ushbu nozik o'zgarishlarni o'rganish tadqiqotxilarga yulduz atrofidagi "sayyoralar oilasidagi" boshqa sayyoralar to'g'risida eng noyob ma'lumotlarni taqdim etadi va aksariyat hollarda tranzit o'zgarishlari bunday ma'lumotlarning yagona manbai hisoblanadi.

Amplituda-tranzit davomiyligi koeffitsienti qurol va harbiy texnikani o'rganish uchun ularni muntazam va ommaviy kuzatish uchun juda yaxshi astroklimatik sharoitlarni talab qiladi. Ikkita narsaning kombinatsiyasi kerak - yuqori aniqlik (bu yaxshi oqim va atmosferaning yuqori shaffofligini anglatadi) va kuzatuvlarning yuqori sikli (birlik vaqtiga imkon qadar ko'proq kuzatuvlarni olish). Maydanak rasadxonasi o'zining ajoyib astroklimati tufayli, hatto nisbatan kichikroq teleskopi bilan qariyb 0,5-0,6 m va zamonaviy CCD qabul qiluvchisi

bilan, yuqori (0,5-1% yoki 5-10 millimetr kattalikdagi) oʻrtacha fotometrik aniqlikni taʼminlay oladi. Rdagi 10-15 qiymat oraligʻidagi obʼyektlar uchun kuzatuvlarning yuqori ish siklini (vaqtning bir daqiqasida bir yoki bir nechtasidan oʻnlab oʻlchovgacha) ushlab turganda bitta oʻlchov.

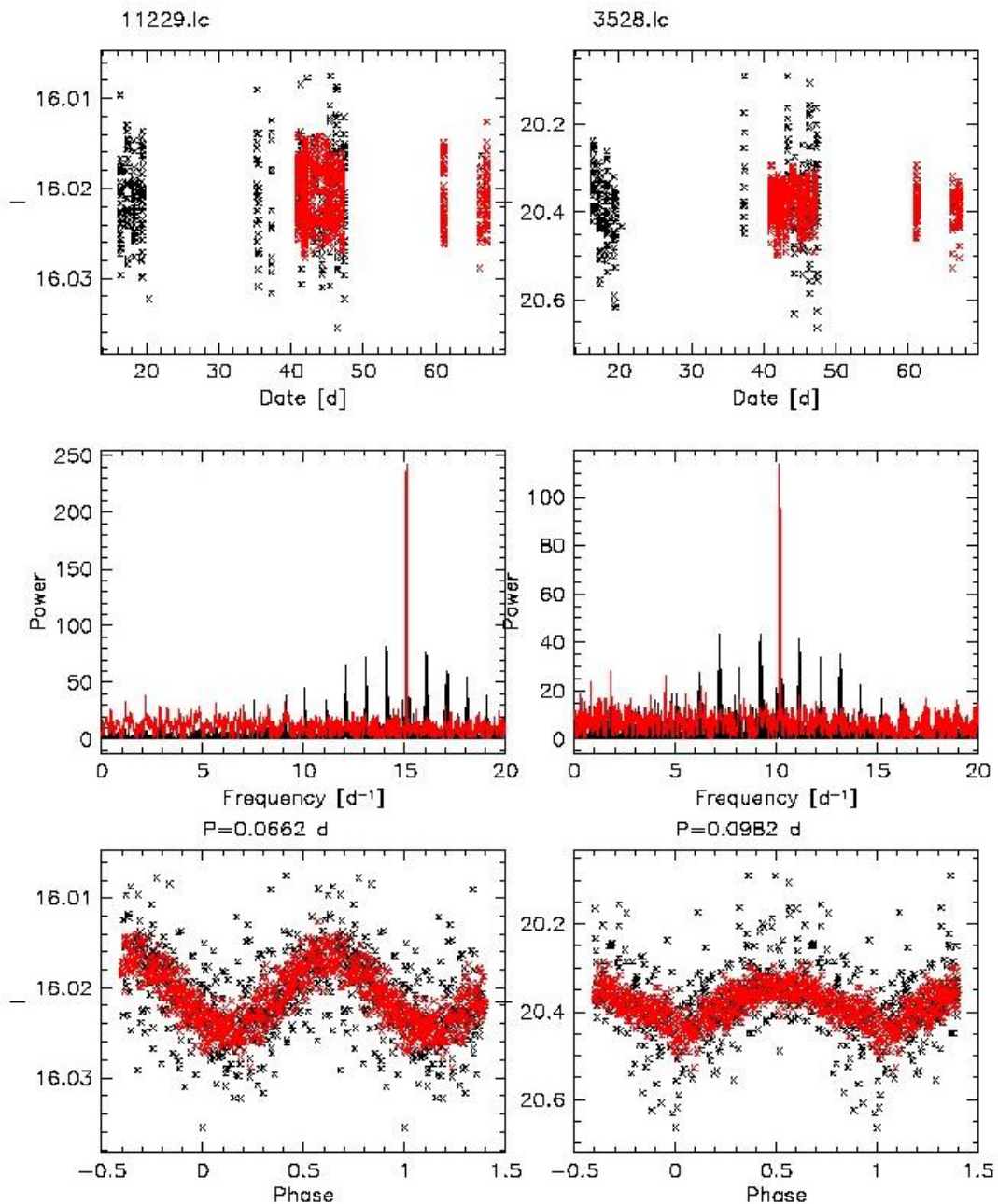
Bugungi kunga qadar eʼlon qilingan dunyo maʼlumotlariga koʻra, allaqachon uchta tizim (70 ga yaqin istiqbolli tizimdan) qurol-yarog va harbiy texnikani kuzatgan yoki gumon qilingan. Exoplanet GJ 436b aslida tranzit vaqtining 20 sekundga oʻzgarishini kuzatdi. HAT-P-13b tizimida chiziqli (hisoblab chiqilgan) efemeridan kutilmagan ogʻish ~ 20 minut davomida kuzatildi. WASP-3b ekzoplanetasini kuzatishlari asosida 15 ta massa massasi va 3,75 kunlik aylanish davri bilan WASP-3c belgisini olgan ikkinchi (hozirgacha kuzatilmagan) ekzoplaneta borligi bilan barqaror model yaratildi. Agar keyingi kuzatishlar taklif qilingan modelni haqiqatan ham tasdiqlasa, u holda WASP-3c ekzoplanetasi "patning uchida" kashf etilgan birinchi ekzoplanetaga aylanish imkoniyatiga ega.

Shunday qilib, IWT usuli bilan yangi ekzoplanetalarni kashf etish tarixi allaqachon oʻzining kashshoflari va birinchi qahramonlariga ega. IWT uslubining ajoyib va foydali xususiyati shundaki, u qimmatbaho spektral uskunalarga ehtiyoj sezmaydi (mos spektrografning oʻrtacha narxi 2-5 million AQSh dollarini tashkil etadi) va kosmik rasadxonalardan maxsus tashkil qilingan tadqiqotlarning yanada qimmat versiyasi (bu yerda narxlar oshadi) kattalikning 2 buyrugʻi bilan). Yerdagi rasadxonalardan kattaligi 0,5 dan 1 m gacha boʻlgan oddiy teleskoplardan foydalangan holda yangi ekzoplanetalar topiladi, ushbu loyiha IWT uslubining ushbu foydali tomonlaridan foydalanishga qaratilgan juda ilmiy ahamiyatga ega (ilgari nomaʼlum boʻlgan yangi kashfiyot) ekzoplanetalar) nisbatan kam xarajat

bilan.

Mahalliy va xorijiy analoglar bilan taqqoslaganda texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlar

Loyihaning asosiy maqsadlarining amaliy maqsadga muvofiqligini namoyish etish uchun (yuqori aniqlik yuqori ish sikli bilan birlashtirilgan), 2-rasmda 2 ta qisqa muddatli (mos ravishda 1,5 va 2,5 soatlik davrlar) o'zgaruvchan ma'lumotlarning real kuzatuvlari va birgalikda ishlash natijalari taqqoslangan 2008 yil kuzida amalga oshirilgan bitta dastur (MONITOR loyihasi) doirasida bir vaqtning o'zida ikkita teleskopda olingan yulduzlar. Gavayidagi Mauna Kea



rasadxonasida dunyodagi eng yaxshi fotometrik 3,6 metrlik CHFT teleskopi bo'yicha olingan kuzatishlar va natijalar qizil rangda, olingan kuzatishlarda Maydanakning 1,5 metrli AZT-22 teleskopi bilan qora rasadxonada belgilangan. Yuqori panellarda kuzatuvlarning o'zi, o'rta panellarda ishlov berish va davrlarni qidirish natijalari ko'rsatilgan (periodogramlar qora rangda, CLEAN usuli qizil rangda), pastki panellarda esa ikkita rotator uchun hosil bo'lgan fazali yorug'lik yegri chiziqlari ko'rsatilgan. Pastki chap panelda # 11229 yulduz I bandida 16 ga teng, ammo har ikkala teleskop amplituda atigi 0,01 kattalikdagi (10 millimagrad) va 1,5 soatlik davriy jarayonni ishonchli tarzda aniqlaydi (tranzit tutilishi uchun odatiy qiymatlar). O'ng tomondagi panelda # 3528 yulduzning I kattaligi taxminan 20,5 ga teng, ammo hattoki bunday kuchsiz o'zgaruvchiga nisbatan ham har ikkala teleskop amplituda 0,1 kattalik (100 millimagnituda) bo'lgan davriy signalni ishonchli aniqlaydi. Shunday qilib, taqqoslash shuni ko'rsatadiki, real sharoitda ikkala teleskop ham kuzatuvning aniq aniqligini (10 dan 100 millimagacha) keng miqyosda (16 dan 20,5 gacha, oqimlar deyarli 2 daraja farq qilganda) aniqlaydi. Dunyodagi eng yaxshi 3,6 metrli fotometrik CHFT va Maydanak teleskoplari o'rtasidagi taqqoslash loyihada belgilangan maqsadlarning amaliy maqsadga muvofiqligiga ishonch uchun ishonchli dalil bo'lib xizmat qilmoqda.

Loyihaning dolzarbligi va maqsadlarining qisqacha tavsifi

Loyihaning dolzarbligi birinchi xatboshida asosanib keltirilgan va 10-15 yil ichida yangi ilm-fanni rivojlantirishga ulkan mablag'lar ko'plab yangi tashkilotlar tomonidan investitsiya qilinganida, dunyo ekzoplanetar tadqiqotlarining jadal dinamikasiga asoslanadi. institutlar va kafedralar kosmik kemalarni uchirishga. Bundan tashqari, ushbu loyihaning dolzarbligi (ekzoplaneta tranzitlarining fotometrik kuzatuvlari) 2010 yildan buyon dunyo miqyosida sayyoraviy tadqiqotlar amaliyotida fotometrik usullarga o'tishga moyil bo'lganligi bilan tasdiqlanadi (ikkinchi xatboshiga qarang). va 1-rasm).

Yuqorida aytib o'tilganlarga asosanib, taklif qilinayotgan loyiha vaqtinchalik qidirish uchun ma'lum bo'lgan 70-100 ta tranzit tizimidan iborat

Maydanak rasadxonasining 60 sm uzunlikdagi ikkita teleskopi yordamida CCD o'lchovlari asosida uzoq muddatli (5 va undan ko'p yillarga) fotometrik patrol sifatida tashkil etilgan. tranzit yo'llarining o'zgarishi. 2012-2016 yillarda 5 yillik kuzatuvlar natijasida. 70-100 istiqbolli tizim uchun 100 mingdan ortiq individual o'lchovlarni yig'ish va referentlar katalogi va fotometrik tranzitlar atlasini qurish rejalashtirilgan. Bu o'rganilayotgan tizimlar uchun qurol-yarog va harbiy texnika to'g'risida statistik ahamiyatga ega ma'lumotlarni olish imkonini beradi. Tranzit tutilishlarini modellashtirish, 5 yillik kuzatuvlar natijasida olingan IWTni hisobga olgan holda, yulduz + ekzoplaneta tizimida qo'shimcha (uchinchi) jismlarning borligi-yo'qligi to'g'risida yetarlicha ishonch bilan gapirish imkonini beradi.

Loyiha va tranzit o'zgarishlarini o'rganish natijasida boshqa yulduzlar atrofida sayyora tizimlarining shakllanishini tushunishda yutuqlarga erishish rejalashtirilgan - ilgari noma'lum sayyoralarni (yangi Yupiterlar) oson kashf etish, Neptun va hatto yangi Yerlar), shuningdek, ekzoplanetalar (yangi oylar) atrofida aylanib yuradigan sun'iy yo'ldoshlarni topish va o'rganish.

V. GLOSSARIY

Termin	O'zbek tilidagi sharxi	Ingliz tilidagi sharxi
Astronomiya	Osmon jismlarni o'rganadigan tabiiy fan	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.
Astrofizika	Osmon jismlarni va jarayonlarni fizik metodlar va prinsiplar orqali o'rganadigan fan	Astrophysics is a science that employs the methods and principles of physics in the study of astronomical objects and phenomena.
Adronlar	Kuchli o'zaro ta'sirda ishtirok etuvchi elementar zarralar	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.
Adronlarning kvark modellari	adronlarning elementar tashkil etuvchilar – kvarklarning bog'langan tizimidan iborat deb qaraluvchi modeli.	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.

<p>Bozon</p>	<p>butun sonli spinga ega bo'lgan zarracha</p>	<p>In <u>quantum mechanics</u>, a boson is a particle that follows <u>Bose–Einstein statistics</u>. Bosons make up one of the two classes of <u>particles</u>, the other being <u>fermions</u>. The name boson was coined by <u>Paul Dirac</u>^[4] to commemorate the contribution of the <u>Indian physicist Satyendra Nath Bose</u>^{[5][6]} in developing, with Einstein, <u>Bose–Einstein statistics</u>—which theorizes the characteristics of elementary particles. Bosons are integer spin particles.</p>
<p>Buyuk birlashuv</p>	<p>kuchli, kuchsiz va elektromagnit o'zaro ta'sirlarning yagona tabiatiga ega ekanligi haqidagi tasavvurga asoslangan fundamental fizikaviy hodisalarning nazariy modeli</p>	<p>Great integration of the fundamental interactions, also known 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—<u>gravitational</u>, <u>electromagnetic</u>, <u>strong nuclear</u>, and <u>weak nuclear</u>. Each one is understood as the dynamics of a <i>field</i>. The gravitational force is modelled as a continuous <u>classical field</u>. The other three are each modelled as discrete <u>quantum fields</u>, and exhibit a measurable unit or <u>elementary particle</u>.</p>

<p>Vaynberg-Salam nazariyasi</p>	<p>elektromagnit va kuchsiz o‘zaro ta’sirlarning birlashgan nazariyasi.</p>	<p>Electromagnetic and weak interactions unified theory. In <u>particle physics</u>, the electroweak interaction is the <u>unified description</u> of two of the four known <u>fundamental interactions</u> of nature: <u>electromagnetism</u> and the <u>weak interaction</u>. 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 <u>unification energy</u>, on the order of 100 <u>GeV</u>, they would merge into a single electroweak force.</p>
<p>Galaktika</p>	<p>yulduzlar, yulduz turkumlari, yulduzlararo gaz va chang, xamda qorong‘i moddadan iborat gravitatsion bog‘langan tizim</p>	<p>Stars, constellations, interstellar gas and dust, and dark matter to gravitationally bound system. The Milky Way is the <u>galaxy</u> that contains our <u>Solar System</u>. 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.</p>
<p>Glyuon</p>	<p>birga teng spinli va nolga teng tinchlik massali hamda kvarklar orasidagi kuchli o‘zaro ta’sirni tashuvchi elektrik neytral zarra.</p>	<p>Gluons are <u>elementary particles</u> that act as the exchange particles (or <u>gauge bosons</u>) for the <u>strong force</u> between <u>quarks</u>, analogous to the exchange of <u>photons</u> in the <u>electromagnetic force</u> between two charged <u>particles</u>.^[6] In layman terms, they "glue" quarks together, forming <u>protons</u> and <u>neutrons</u>. In technical terms, gluons are <u>vector gauge bosons</u> that mediate <u>strong interactions</u> of <u>quarks</u> in <u>quantum chromodynamics (QCD)</u>. Gluons themselves carry the <u>color charge</u> of the strong interaction.</p>

Inflaton	Boshlang'ich koinotni yaratuvchi skalyar zarracha va maydon.	The inflaton field is a hypothetical scalar field which is conjectured to have driven cosmic inflation in the very early universe.
Koinot	moddiy dunyoning kuzatish mumkin bo'lgan qismi.	part of the material world that can be observed. The Universe is all of <u>time</u> and <u>space</u> and its contents. The Universe includes <u>planets</u> , <u>natural satellites</u> , <u>minor planets</u> , <u>stars</u> , <u>galaxies</u> , the contents of <u>intergalactic space</u> , the smallest <u>subatomic particles</u> , and all <u>matter</u> and <u>energy</u> . The <u>observable universe</u> is about 28 <u>billion parsecs</u> (91 billion <u>light-years</u>) in diameter at the <u>present time</u> . The size of the whole Universe is not known and may be either finite or infinite.
Kuchli o'zaro ta'sir	bir nechta femtometr (10 ⁻¹⁵ m) kichik masofalarda adronlar orasidagi o'zaro ta'sir. Xususan, atom yadrolaridagi nuklonlarning o'zaro bog'lanishini ta'minlaydi.	In <u>particle physics</u> , 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 <u>fundamental interactions</u> of nature, the others being <u>electromagnetism</u> , the <u>weak interaction</u> and <u>gravitation</u> . Despite only operating at a distance of a <u>femtometer</u> , it is the strongest force, being approximately 100 times stronger than electromagnetism, a million times stronger than <u>weak interaction</u> and 10 ³⁸ times stronger than gravitation at that range.

<p>Leptonlar</p>	<p>kuchli o‘zaro ta’sirda ishtirok etmaydigan elementar zarralarning umumiy nomi.</p>	<p>A lepton is an <u>elementary, half-integer spin</u> (spin $1/2$) particle that does not undergo <u>strong interactions</u>.^[1] Two main classes of leptons exist: <u>charged leptons</u> (also known as the <u>electron-like leptons</u>), and <u>neutral leptons</u> (better known as <u>neutrinos</u>). Charged leptons can combine with other particles to form various <u>composite particles</u> such as <u>atoms</u> and <u>positronium</u>, while neutrinos rarely interact with anything, and are consequently rarely observed. The best known of all leptons is the <u>electron</u>.</p>
<p>Neytron yulduzlar</p>	<p>yulduzlarning ichki tuzilishi nazariyasiga ko‘ra ozgina elektronlar aralashgan neytronlardan o‘ta og‘ir atom yadrolari va protonlardan tashkil topgan eng zich yulduzlar.</p>	<p>A neutron star is a type of <u>compact star</u>. Neutron stars are the smallest and densest stars known to exist in the <u>Universe</u>. With a radius of 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 <u>gravitational collapse</u> of a <u>massive star</u> that produces a <u>supernova</u>. Neutron stars are composed almost entirely of <u>neutrons</u>, which are subatomic particles with no net <u>electrical charge</u> and with slightly larger mass than <u>protons</u>. They are supported against further collapse by <u>quantum degeneracy pressure</u> due to the phenomenon described by the <u>Pauli exclusion principle</u>.</p>

<p>Pozitron</p>	<p>kattaligi jihatdan elektron zaryadiga teng musbat zaryadli, massasi elektron massasiga teng bo‘lgan elementar zarra, elektronga nisbatan antizarra.</p>	<p>The positron or antielectron is the <u>antiparticle</u> or the <u>antimatter</u> counterpart of the <u>electron</u>. The positron has an <u>electric charge</u> of $+1 e$, a <u>spin</u> of $\frac{1}{2}$, and has the same mass as an electron. When a low-energy positron collides with a low-energy electron, <u>annihilation</u> occurs, resulting in the production of two or more <u>gamma rayphotons</u> (see <u>electron–positron annihilation</u>). Positrons may be generated by <u>positron emission</u> radioactive decay (through <u>weak interactions</u>), or by <u>pair production</u> from a sufficiently energetic <u>photon</u> which is interacting with an atom in a material.</p>
<p>Qora o‘ra</p>	<p>gravitatsiya kuchlari jismni uning gravitatsiyaviy radiusidan kichikroq o‘lchamlargacha siqilishi natijasida yuzaga keluvchi kosmik ob’yekt.</p>	<p>A black hole is a region of <u>spacetime</u> exhibiting such strong <u>gravitational</u> effects that nothing—including <u>particles</u> and <u>electromagnetic radiation</u> such as light—can escape from inside it. The theory of <u>general relativity</u> predicts that a sufficiently compact <u>mass</u> can deform <u>spacetime</u> to form a black hole. The boundary of the region from which no escape is possible is called the <u>event horizon</u>.</p>

Qorong'i modda	Borliqning 23% noma'lum moddasi.	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.
Qorong'i energiya	Borliqning antigravitatsiya hususiyatiga ega 73% noma'lum energiyasi.	Dark energy is an unknown form of energy that affects and accelerates the universe on the largest scales.

VI. ADABIYOTLAR RO‘YXATI

I. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining asarlari

1. Мирзиёев Ш.М. Буюк келажегимизни мард ва олижаноб халқимиз билан бирга қураимиз. – Т.: “Ўзбекистон”, 2017. – 488 б.
2. Мирзиёев Ш.М. Миллий тараққиёт йўлимизни қатъият билан давом эттириб, янги босқичга кўтарамиз. 1-жилд. – Т.: “Ўзбекистон”, 2017. – 592 б.
3. Мирзиёев Ш.М. Халқимизнинг розилиги бизнинг фаолиятимизга берилган энг олий баҳодир. 2-жилд. Т.: “Ўзбекистон”, 2018. – 507 б.
4. Мирзиёев Ш.М. Нияти улуғ халқнинг иши ҳам улуғ, ҳаёти ёруғ ва келажаги фаровон бўлади. 3-жилд.– Т.: “Ўзбекистон”, 2019. – 400 б.
5. Мирзиёев Ш.М. Миллий тикланишдан – миллий юксалиш сари. 4-жилд.– Т.: “Ўзбекистон”, 2020. – 400 б.

II. Normativ-huquqiy hujjatlar

6. Ўзбекистон Республикасининг Конституцияси. – Т.: Ўзбекистон, 2018.
7. Ўзбекистон Республикасининг 2020 йил 23 сентябрда қабул қилинган “Таълим тўғрисида”ги ЎРҚ-637-сонли Қонуни.
8. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2012 йил 10 декабрдаги “Чет тилларни ўрганиш тизимини янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида”ги ПҚ-1875-сонли қарори.
9. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2015 йил 12 июнь “Олий таълим муассасаларининг раҳбар ва педагог кадрларини қайта тайёрлаш ва малакасини ошириш тизимини янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида”ги ПФ-4732-сонли Фармони.
10. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февраль “Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида”ги 4947-сонли Фармони.
11. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 20 апрель "Олий таълим тизимини янада ривожлантириш чора-тадбирлари тўғрисида”ги ПҚ-2909-сонли қарори.
12. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2018 йил 21 сентябрь “2019-

2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини инновацион ривожлантириш стратегиясини тасдиқлаш тўғрисида”ги ПФ-5544-сонли Фармони.

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

14. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2019 йил 17 июнь “2019-2023 йилларда Мирзо Улуғбек номидаги Ўзбекистон Миллий университетиди талаб юқори бўлган малакали кадрлар тайёрлаш тизимини тубдан такомиллаштириш ва илмий салоҳиятини ривожлантири чора-тадбирлари тўғрисида”ги ПҚ-4358-сонли Қарори.

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

16. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2019 йил 8 октябрь “Ўзбекистон Республикаси олий таълим тизимини 2030 йилгача ривожлантириш концепциясини тасдиқлаш тўғрисида”ги ПФ-5847-сонли Фармони.

17. Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамасининг 2019 йил 23 сентябрь “Олий таълим муассасалари раҳбар ва педагог кадрларининг малакасини ошириш тизимини янада такомиллаштириш бўйича қўшимча чора-тадбирлар тўғрисида”ги 797-сонли қарори.

III. Maxsus adabiyotlar

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

19. Andi Klein and Alexander Godunov. “Introductory Computational Physics”. Cambridge University Press 2010.

20. David Spencer “Gateway”, Students book, Macmillan 2012.

21. Dieter Vollath Nanoparticles-Nanocomposites-Nanomaterials. An introduction for beginners. – Wiley-VCH VerlagGmbH&Co.KGaA, Boschstr. Weinheim, Germany, 2013. – P. 322.

22. English for Specific Purposes. All Oxford editions. 2010, 204.
23. Harvey Gould, Jan Tobochnik, Wolfgang Christian. “An introduction to computer simulation methods. Applications to Physical Systems”. Pearson Education, Inc., publishing as Addison Wesley, 2007.
24. Isabel Gedgrave” Modern Teaching of Physics”. 2009
25. Lindsay Clandfield and Kate Pickering “Global”, B2, Macmillan. 2013.
26. Mitchell H.Q. “Traveller” B1, B2, MM Publications. 2015. 183.
27. Mustafa Akay. Introduction to Polymer Science and Technology & Ventus Publishing ApS, 2012, - P.169.
28. Rolf Klein. Material Properties of Plastics, - Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Boschstr. Weinheim, Germany, 2011. – P. 68.
29. S. Siti Suhaily, H.P.S. Abdul Khalil, W.O. Wan Nadirah and M. Jawaid Bamboo Based Biocomposites Material, Design and Applications Additional information is available at the end of the chapter 2013.
30. S.M.Lindsay, Introduction to nanoscience, Oxford University Press, 2010.
31. Viatcheslav Mukhanov, Physical Foundations of Cosmology Cambridge University Press, 2012, DOI: <https://doi.org/10.1017/CBO9780511790553>
32. Vittorio Degiorio, Ilaria Cristiani / Photonics. A short course/ Springer International Publishing Switzerland 2014.
33. William D. Callister Jr. Materials Sciences and Engineering. An Introduction. John Wiley & Sons. Ins. 2010. – P. 1000.
34. Архангельская И.В., Розенталь И.Л., Чернин А.Д. Космология и физический вакуум. Изд. стереотип. URSS. 2020. 214 с. ISBN 978-5-396-00993-6.
35. Асекретов О.К., Борисов Б.А., Бугакова Н.Ю. и др. Современные образовательные технологии: педагогика и психология: монография. – Новосибирск: Издательство ЦРНС, 2015. – 318 с. <http://science.vvsu.ru/files/5040BC65-273B-44BB-98C4-CB5092BE4460.pdf>

36. Белогуров А.Ю. Модернизация процесса подготовки педагога в контексте инновационного развития общества: Монография. — М.: МАКС Пресс, 2016. — 116 с. ISBN 978-5-317-05412-0.
37. Гулобод Қудратуллоҳ қизи, Р.Ишмухамедов, М.Нормухаммедова. Анъанавий ва ноанъанавий таълим. – Самарқанд: “Имом Бухорий халқаро илмий-тадқиқот маркази” нашриёти, 2019. 312 б.
38. Джораев М., Физика ўқитиш методикаси. Гулистон давлат университети. Гулистон, 2017. – 256 б.
39. Ибраймов А.Е. Масофавий ўқитишнинг дидактик тизими. методик қўлланма/ тузувчи. А.Е.Ибраймов. – Тошкент: “Lesson press”, 2020. 112 бет.
40. Усмонов Б.Ш., Ҳабибуллаев Р.А. Олий ўқув юртларида ўқув жараёнини кредит-модуль тизимида ташкил қилиш. Ўқув қўлланма. Т.: “Tafakkur” нашриёти, 2020 й. 120 бет.

IV. Internet saytlar

41. <http://edu.uz> – Ўзбекистон Республикаси Олий ва ўрта махсус таълим вазирлиги
42. <http://lex.uz> – Ўзбекистон Республикаси Қонун ҳужжатлари маълумотлари миллий базаси
43. <http://bimm.uz> – Олий таълим тизими педагог ва раҳбар кадрларини қайта тайёрлаш ва уларнинг малакасини оширишни ташкил этиш бош илмий-методик маркази
44. www.ziyonet.uz – Таълим портали