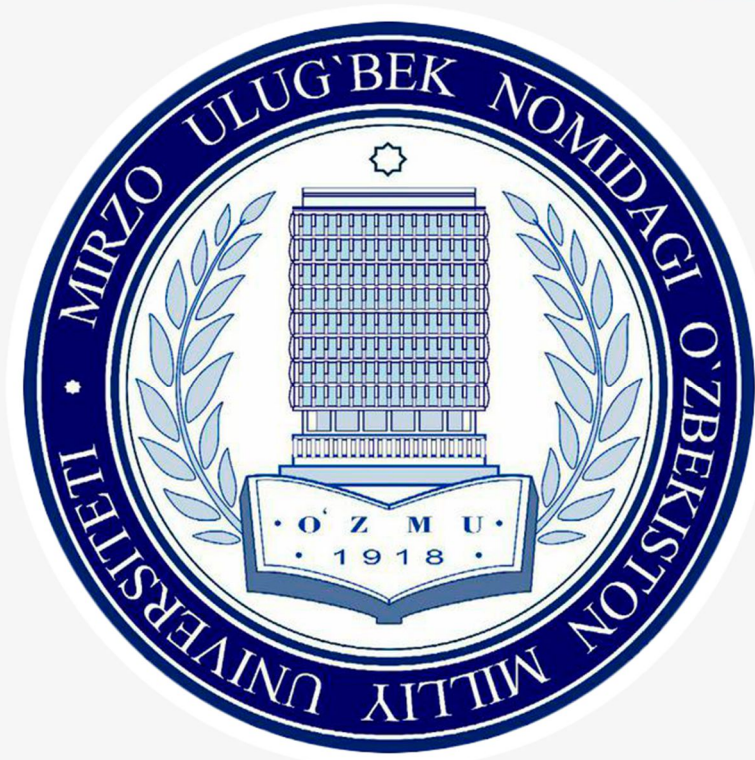


**O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIV VA O‘RTA MAXSUS TA‘LIM VAZIRLIGI**

**OLIV TA‘LIM TIZIMI PEDAGOG VA RAHBAR KADRLARINI QAYTA
TAYYORLASH VA ULARNING MALAKASINI OSHIRISHNI TASHKIL
ETISH BOSH ILMIV - METODIK MARKAZI**

**O‘ZBEKISTON MILLIV UNIVERSITETI HUZURIDAGI PEDAGOG
KADRLARNI QAYTA TAYYORLASH VA ULARNING MALAKASINI
OSHIRISH TARMOQ (MINTAKAVIV) MARKAZI**



**“KOINOT TARKIBI, TUZILISHI VA
LINZALANGAN KVAZARLAR”
moduli bo‘yicha**

O‘QUV–USLUBIV MAJMU‘A

Toshkent – 2022

Modulning ishchi o‘quv dasturi O‘zbekiston Respublikasi Oliy va o‘rta maxsus ta’lim vazirligining 2020 yil 7-dekabrda 648-sonli buyrug‘i bilan tasdiqlangan namunaviy o‘quv reja va dasturlar asosida ishlab chiqilgan.

Tuzuvchi:

O‘zMU professori, Astrofizik
tadqiqotlar laboratoriyasi
mudiri **S. N. Nuritdinov**

Taqrizchi:

S.P. Ilyasov (f.-m.f.d., O‘zR FA
Astronomiya instituti)
Katsuxiro Nakamuro,
O‘zMUning fizika fakulteti
hamda Osaka shaxar
universitetining nafaqadagi
professori (**Yaponiya**)

**O‘quv - uslubiy majmua Bosh ilmiy-metodik markaz Ilmiy metodik
Kengashining qarori bilan nashrga tavsiya qilingan
(2021 yil “30” dekabrda 5/4-sonli bayonnoma)**

MUNDARIJA

I. ISHCHI DASTUR	4
II. MODULNI O‘QITISHDA FOYDALANILADIGAN INTERFAOL TA‘LIM METODLARI.	9
III. NAZARIY MASHG‘ULOT MATERIALLARI	13
IV. AMALIY MASHG‘ULOT MATERIALLARI	94
V. KEYSLAR BANKI	96
VI. MUSTAQIL TA‘LIM MAVZULARI	98
VII. GLOSSARIY	99
VIII. ADABIYOTLAR RO‘YXATI	106

I. ISHCHI DASTUR

Kirish

Mazkur dastur O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2015 yil 12 iyundagi “Oliy ta’lim muassasalarining rahbar va pedagog kadrlarini qayta tayyorlash va malakasini oshirish tizimini yanada takomillashtirish chora-tadbirlari to‘g‘risida” gi PF-4732-son Farmonidagi ustuvor yo‘nalishlar mazmunidan kelib chiqqan holda tuzilgan bo‘lib, u zamonaviy talablar asosida qayta tayyorlash va malaka oshirish jarayonlarining mazmunini takomillashtirish hamda oliy ta’lim muassasalari pedagog kadrlarining kasbiy kompetentligini muntazam oshirib borishni maqsad qiladi.

Jahonda arxivlarning paydo bo‘lishi va taraqqiy etishi, turli tarixiy davrlarda dunyoning har xil mintaqalarida arxiv ishining shakllanib borishi, hozirgi zamon arxivlari faoliyatining o‘ziga xos xususiyatlari, xalqaro Astronomiya tajribalarining almashinuvi bilan bog‘liq bilimlarni tarixchi mutaxasslarda shakllantirish muhim ahamiyat kasb etadi, ularning tarix va arxiv ishi tarixi sohasidagi dunyoqarashini kengaytiradi, arxivlarda ishlash, hujjatlarni tahlil etish, ma’lumotlar asosida tarixiy jarayonlarni to‘g‘ri talqin etish va yoritib berish, hosil bo‘lgan bilimlarni amaliyotda keng qo‘llash imkonini beradi. Koinot tarkibi, tuzilishi va linzalangan kvazarlar kursi davomida olingan bilim va hosil etilgan ko‘nikmalardan mutaxassislar ish yurituvchi, arxivshunos, manbashunos, tarixchi, tarixchi-pedagog, arxivshunos-pedagog sohalarida keng foydalanishlari mumkin.

Modulning maqsadi va vazifalari

“Koinot tarkibi, tuzilishi va linzalangan kvazarlar” **modulining maqsadi:** pedagog kadrlarni qayta tayyorlash va malaka oshirish kursi tinglovchilariga jahon arxivlarining turli davrlardagi tarixi va jahonda zamonaviy Astronomiya tajribasi bilan bog‘liq nazariy bilimlarni berish hamda ushbu bilimlardan amaliyotda to‘g‘ri foydalanish ko‘nikmalarini hosil qilishdan iborat.

Modulning vazifalari:

- qadimgi dunyo arxivlari va arxiv muassasalari haqida ma’lumot berish;
- o‘rta asrlar va yangi davrda dunyoning turli hududlarida arxivlar hamda arxiv ishining o‘ziga xos xususiyatlariga doir ma’lumotlar bilan tanishtirish;
- jahonda hozirgi davrda faoliyat yuritayotgan yetakchi arxivlarning faoliyati va tajribasiga oid bilimlarni shakllantirish;
- turli davrlarda va hududlarda mavjud arxiv muassasalari va ulardagi arxiv ishining tashkiliy jihatlarini taqqoslash, tahlil qilish va umumlashtirish bo‘yicha ko‘nikmalar shakllantirish.

Modulning o‘quv rejadagi boshqa modullar bilan bog‘liqligi va uzviyligi
 “Koinot tarkibi, tuzilishi va linzalangan kvazarlar” moduli mazmuni o‘quv rejadagi “Astronomiya o‘qitish metodikasi va ta’lim texnologiyasi”, “Arxiv ishida informatsion texnologiyalar”, “Arxiv huquqi”, “Arxiv ishi menejmenti” o‘quv modullari bilan uzviy bog‘langan holda pedagoglarning Astronomiya bo‘yicha kasbiy pedagogik tayyorgarlik darajasini orttirishga xizmat qiladi.

Modulning oliy ta’limdagi o‘rni

O‘zbekiston Respublikasining arxivshunos kadrlari jahon arxivlari tarixiga oid bilimlarni puxta egallashi lozim. Modulni o‘zlashtirish orqali tinglovchilar jahonda arxivlarning paydo bo‘lishi hamda rivojlanishi, hozirgi kundagi holati va faoliyati bilan bog‘liq jarayonlarni tahlil etish, bilimlarni amalda qo‘llash va arxiv ishi holatini baholashga doir kasbiy kompetentlikka ega bo‘ladilar.

Koinot tarkibi, tuzilishi va linzalangan kvazarlar modul bo‘yicha soatlar taqsimoti

Modul bo‘yicha soatlar taqsimoti

№	Modul mavzulari	Tinglovchining o‘quv yuklamasi, soat					Mustaqil ta’lim
		Umumiy soat	Jami auditoriya soati	Auditoriya o‘quv yuklamasi			
				Jumladan			
				Nazariy	Amaliy	Ko‘chma mashg‘ulot	
1.	Koinot tuzilishi buyicha zamonaviy kuzatuv ma’lumotlar	4	4	2	2	-	-
2.	Koinot modellari	4	4	2	2	-	-
3.	Koinot zamonaviy nazariyasi	4	4	2	2	-	-
4.	Koinot zamonaviy tarkibi	4	4	2	2	-	-

5.	Mikrolinlanish va kechikish vaktlarini aniqlash usullari	12	6	2	4	2	4
	Jami:	28	26	10	12	2	4

NAZARIY MASHG'ULOTLAR MAZMUNI

1-mavzu. Koinot tuzilishi buyicha zamonaviy kuzatuv ma'lumotlar

Koinot tuzilishi buyicha zamonaviy kuzatuv ma'lumotlari. Fridmanning birjinsli izotropik Koinot modellari. Katta Portlash va Koinot evolyusiyasining asosiy bosqichlari.

2-mavzu. Koinot modellari

Koinot modellari. Katta Portlash va Koinot evolyusiyasining asosiy bosqichlari. Eng uzoq galaktikalargacha masofani o'ta yangi yulduzlar usuli bilan aniqlab, Koinotning jadallashib kengayotganini isbotlash. Jadallashib kengayuvchi.

3-mavzu. Koinot zamonaviy nazariyasi

Eng uzoq galaktikalargacha masofani o'ta yangi yulduzlar usuli bilan aniqlab, Koinotning jadallashib kengayotganini isbotlash. Jadallashib kengayuvchi Koinot zamonaviy nazariyasi.

4-mavzu. Koinot zamonaviy tarkibi

Koinot zamonaviy tarkibi va qoramtir modda hususiyatlari. Kvazarlarning umumiy hossalari va turlari, qoramtir modda hususiyatlari.

5-mavzu. Mikrolinlanish va kechikish vaktlarini aniqlash usullari

Gravitatsion linlanish va linlangan kvazarlar. Gravitatsion linzalarning ko'p rangli fotometriyasi. Mikrolinlanish va kechikish vaktlarini aniqlash usullari.

AMALIY MASHG'ULOTLAR MAZMUNI

1-mavzu. Koinot tuzilishi buyicha zamonaviy kuzatuv ma'lumotlar

Xabbl doimiysini xisoblash bo'yicha masalalar yechish. Adabiyotlardan

kosmologik parametrlarning ohirgi topilgan parametrlarni jamlash.

2-mavzu. Koinot modellari

Kosmologik masofalarni hisoblash formulalaridan foydalanish.

3-mavzu. Koinot zamonaviy nazariyasi

Teleskoplar. Kosmik teleskoplari: Xabbl, Chandra, Gayya va boshqa orbital observatoriyalari. Maydanak teleskopi va uning yordamida yechiladigan vazifalar.

4-mavzu. Koinot zamonaviy tarkibi

Faol galaktikalar va linzalangan kvazarlar tasniflarini ularning kuzatuv tasvirlaridan aniqlash. PZS tasvirlarning birlamchi tahlilini o'tkazish. Gravitatsion linzalangan tasvirlarning fotometrik tahlilini turli fotometrik dasturlar yordamida o'tkazish.

5-mavzu. Mikrolinzalanih va kechikish vahtlarini aniqlash usullari

Tanlangan gravitatsion linzalangan sistemalar uchun turldi usullar yordamida va ravshanlik egri chiziqlariga asoslangan holda kechikishvaqtini hisoblash.

KO'CHMA MASHG'ULOT

Ko'chma mashg'ulotni tashkil etish shakli va mazmuni

Ko'chma mashg'ulotlar modullarning xususiyatlarini inobatga olgan xolda quyidagi shakllarda tashkil etiladi:

- O'zbekiston Milliy universitetining o'quv-laboratoriya xonalarida, muzeylari hamda namunaviy dekanatida;
- Markazning ishlab chiqarish korxonalarini, ilmiy tadqiqot muassasalari va boshqa markazlar bilan tuzilgan shartnomalari asosida tashkil etiladi hamda o'rnatilgan tartibda rasmiylashtiriladi.

MUSTAQIL TA'LIM

Tinglovchi mustaqil ishni modulni xususiyatlarini hisobga olgan holda quyidagi shakllardan foydalanib tayyorlashi tavsiya etiladi:

- o'quv, ilmiy adabiyotlardan va meyoriy xujjatlardan foydalanish asosida modul mavzularini o'rganish;
- tarqatma materiallar bo'yicha ma'ruzalar qismini o'zlashtirish;
- avtomatlashtirilgan o'rgatuvchi va nazorat qiluvchi dasturlar bilan ishlash;
- maxsus adabiyotlar bo'yicha modul bo'limlari yoki mavzulari ustida ishlash;
- tinglovchining kasbiy faoliyati bilan bog'liq bo'lgan modul bo'limlari va mavzularni chuqur o'rganish;
- fanga oid statistik ma'lumotlarni o'rganish, ularni tahlil qilish.

O‘QITISH SHAKLLARI

Kursni 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 interfaol pedagogik (aqliy hujum, bumerang, FSMU) usul va texnologiyalardan foydalaniladi.

O‘tkaziladigan amaliy mashg‘ulotlarda texnik vositalardan, grafik organayzerlardan, keyslardan foydalanish, guruhli fikrlash, kichik guruhlar bilan ishlash, blits-so‘rovlardan va boshqa interaktiv ta’lim usullarini qo‘llash nazarda tutiladi.

JORIY NAZORAT(ASSISEMENT)NI BAHOLASH MEZONI

Joriy nazorat(assisement)ni baxolash O‘zbekiston Milliy universiteti huzuridagi pedagog kadrlarini qayta tayyorlash va ularning malakasini oshirish Tarmoq (mintaqaviy) markazida tasdiqlangan shakllari va mezonlari asosida amalga oshiradi.

Ushbu modulning joriy nazorat(assisement)ga ajratilgan maksimal ball - **0,7 ball.**

I. 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)	• кучли томонлари
W – (weakness)	• заиф, кучсиз томонлари
O – (opportunity)	• имкониятлари
T – (threat)	• тўсиқлар

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’sirlar 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’sirlar foydalanishning imkoniyatlari (ichki)	Fizikaning qonunlarini o‘zaro bog‘liqligini ko‘rsatadi.
T	To‘siqlar (tashqi)	Nazariyaning matematik apparati murakkab.

“Assesment” metodi

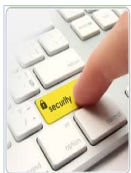
Metodning maqsadi: mazkur metod ta’lim oluvchilarning bilim darajasini baholash, nazorat qilish, o‘zlashtirish ko‘rsatkichi va amaliy ko‘nikmalarini

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.



Test

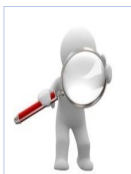
1. Kuchsiz o'zaro ta'sirni tashuvchi zarralarni ko'rsating

- A. W-bozon
- B. foton
- C. glyuon



Qiyosiy tahlil

Fundamental o'zaro tasir kuchlarini aniqlang



Tushuncha tahlili

- W –Bozon tshunchasini izohlang



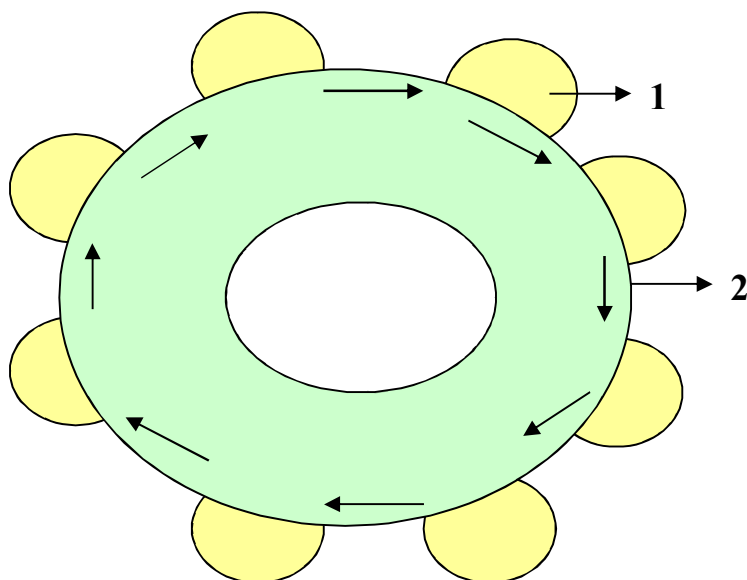
Amaliy ko'nikma

- Zarrachaning energiyasini hisoblang

“Davra suhbatı” metodi

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

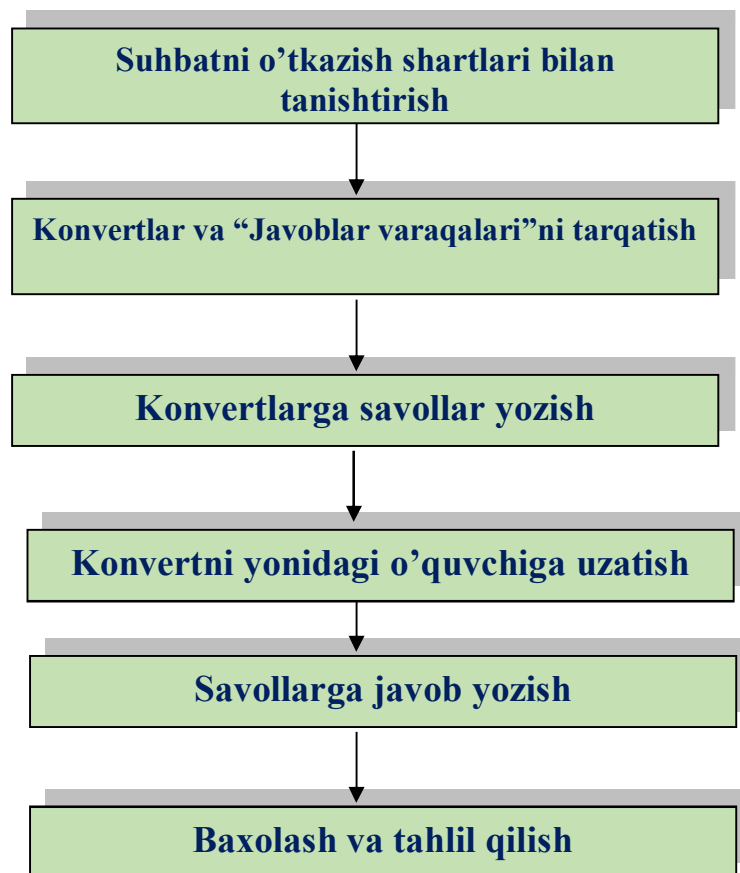
“Davra suhbatı” metodi qo’llanilganda stol-stullarni doira shaklida joylashtirish kerak. Bu har bir ta’lim oluvchining bir-biri bilan “ko’z aloqasi”ni o’rnatib turishiga yordam beradi. Davra suhbatining og’zaki va yozma shakllari mavjuddir. Og’zaki davra suhbatida ta’lim beruvchi mavzuni boshlab beradi va ta’lim oluvchilardan ushbu savol bo’yicha o’z fikr-mulohazalarini bildirishlarini so’raydi va aylana bo’ylab har bir ta’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’ng muhokama qilinadi. Bu esa ta’lim oluvchilarning mustaqil fikrlashiga va nutq madaniyatining rivojlanishiga yordam beradi.



Berilgan:
1-Ta’lim oluvchilar
2-aylana stol

Davra stolining tuzilmasi

Yozma davra suhbatida stol-stullar aylana shaklida joylashtirilib, har bir ta’lim oluvchiga konvert qog’ozi 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 suhbatı” metodining tuzilmasi keltirilgan



“Davra suhbatlari” metodining afzalliklari:

- o‘tilgan materialning 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 MASHG‘ULOT MATERIALLARI

1-MAVZU:

Koinotni katta portlash natijasida yaratilishi, inflyatsiya jarayoni. Fundamental o‘zaro ta’sirlar

REJA

- 1.1 Kosmologik modellar: Fridmanning olam modeli.
- 1.2 Katta Portlash va Koinot evolyusiyasining asosiy bosqichlari.
- 1.3 Galaktikalarning uzoqlashishi
- 1.4 Inflyatsiya erasi
- 1.5 Moddaning paydo bo‘lishi.

Tayanch iboralar: *to‘rtta fundamental o‘zaro ta’sir kuchlari, katta portlash, galaktikalar tezlanish bilan uzoqlashishi, inflyatsiya erasi, nukleosintez, Xabbl doimiysi, moddaning paydo bo‘lishi*

1.1. Kosmologik modellar — Koinotni bir butun obyekt sifatida ifoda etishga maqsadlangan modellardir. Umumiy holda modellarni tuzishda astrofizika va fizikaning quyidagi bo‘limlarini qo‘llaniladi:

1. Muvozanatli statistik fizika, uning asosiy tushunchalari va prinsiplari, hamda relyativistik gaz nazariyasi.
2. Gravitatsiya nazariyasi. Ayrim hollarda umumnisbiylik nazariyasi ishlattiladi.
3. Elementar zarralar fizikasining ayrim ma’lumotlari: asosiy zarralarning tasniflari, o‘zaro ta’sirlanishlar, saqlanish qonunlari.
4. Astronomik kuzatuvlar natijalari.

Xozirgi kunda kuzatuv natijalarini eng to‘liq holda tushuntirib bera oladigan nazariyalarni quyidagicha deb aytishimiz mumkin:

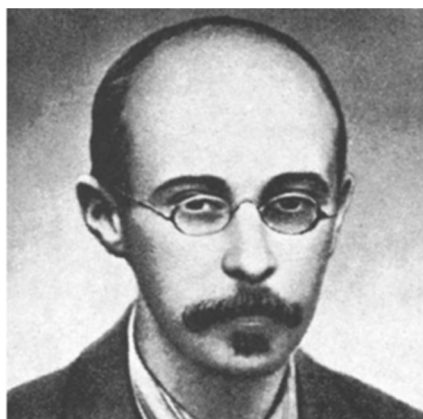
Katta portlash nazariyasi. <i>Koinotning kiyoviy tarkibini tushuntirib beradi</i>	Inflyatsiya nazariyasi <i>Koinotning kengayishini tushuntiradi.</i>	Fridmanning kegayuvchi modeli. <i>Kengayishni ifodalaydi.</i>	Iyerarxik nazariyasi <i>Koinotning yirik masshtabli tuzilishini tushuntiradi.</i>
--	--	--	--

Yashil rang – absolyut ustunlikga ega bo‘lgan nazariyalar; jigarrang — ko‘pchilik tomonidan tan olingan, ammo haligacha muhokama qilinmoqda; qizil — ohirgi yillarda qiynchiliklarga duch kelgan, ammo tadqiqotchilarning ko‘pchiligi tomonidan qo‘llanilmoqda.

Koinot haqida quyidagi asosiy ma’lumotlar bizga ma’lum:

Eng keng tarqalgan element — vodorod.	Koinotning kengayishi $z \sim 0,1$ gacha masofada chiziqlidir	Relikt nurlanishining foni juda kichik masshtablarda o‘zgarishi mumkin
Relikt fonning harorarti masofaga bog‘liqligi	Uzoq kvazarlarning ($Z > 6$) spektrlarida ko‘p sonli L_{α} -chiziqlarning mavjudligi	100 Mpk dan kichik masshtablarda galaktikalarning atqsimotida juda kuchli nobirjinslilik mavjud

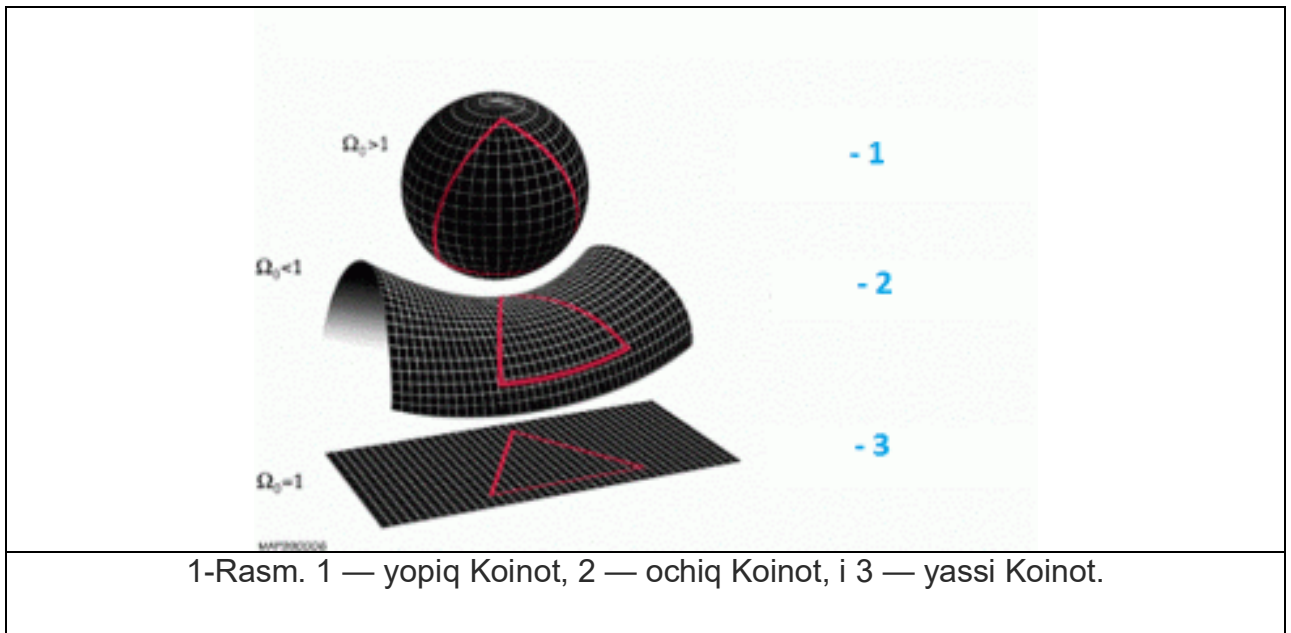
Ushbu hodisalarni tushuntirishning nazariy asoslarida **kosmologik prinsipi** yotibdi. Bu prinsipning asosiy mazmuni quyidagicha: kuzatuvchilar har qanaqa kuzatuv joyida va yo‘nalishda bir hil manzarani kuzatishadi. Ko‘rib turganizdek, yuqorida keltirilgan nazariyalar kimyoviy elementlarning kelib chiqishini, Koinotning rivojlanishini, kengayishining sababini hamda yirik masshtabli tuzilmalarning shakllanishini ifodalashga va tushuntirib berishga intiladi.



Fridmanning olam modeli

1922 yilda rossiyalik matematik Aleksandr Fridman umumnisbiylik nazariyasining tenglamalarini tahlili natijasida Koinot o‘zgarimas, statsionar holat bo‘laolmasligi – u yoki kengayishi yoki pulsatsiyalanishi kerak degan hulosaga kelgan. Fridman ishlab chiqqan modelida Koinot birjinsli izotrop nostatsionar deb qaraladi. Keyinchalik Fridmanning hulosalari galaktikalar va ularning to‘dalarini kuzatuvlari orqali to‘liq tasdiqlandi. Galaktikalarning spektrlaridagi chiziqlar qizil tomonga siljigan bo‘lib chiqdi. Bu ularning uzoqlashishidan dalil bo‘lgan.

Fridman umunisbiylik nazariyasining tenglamalarining yechimlari Koinotning uchta modelini qurishga imkon berishini ko‘rsatdi:



1-Rasm. 1 — yopiq Koinot, 2 — ochiq Koinot, i 3 — yassi Koinot.

Yassi Koinotning geometriyasi oddiy Yevklid geometryasi bilan ifodalanadi, ya'ni parallel chiziqlar hech qayerda o'zaro kesishishmaydi. Birgina farqi shundag iboratki, Koinot kengayganda ular orasidagi masofa doimo oshib boradi.

Yopiq Koinot o'zining geometrik xususiyatlari bo'yicha sferaning sirtiga o'hshab ketadi.

Ochiq Koinot o'zining geometrik xususiyatlari bo'yicha giperboloidga o'hshaydi, ya'ni giperboloidning biron bir nuqtasidan ikkita parallel o'qlar chiqsa, ular bir biridan uzoqlashib, hech qachon uchrashishmaydi.

Fridmana-Robertsona-Uoker metrikasi:

Birjinsli izotrop Koinotning metrikasi – birjinsli va izotrop o'cho'lchamli fazoning metrikasi va u Fridman-Robetson-Uoker (FWT) metrikasi bilan ifodalanadi.

$$ds^2 = dt^2 - a^2(t)d\chi^2$$

χ — vaqtga bog'liq bo'lmagan masshtab ko'paytmasi, a – vaqtga bog'liq masshtab faktori, t — yorug'lik tezligi birligidagi vaqt, s — interval.

$$ds^2 = dt^2 - a^2(t) \left(dx^2 + k \frac{(x dx)^2}{1 - kx^2} \right),$$

Bu yerda k quyidagi qiymatlarga ega bo'lishi mumkin:

$k = 0$ uch o'lchamli tekislik uchun

$k = 1$ uch o'lchamli sfera uchun
 $k = -1$ uch o'lchamli gipersfera uchun

x — uch o'lchamli radius-vektor.

Asosiy tenglamalar:

Energiya tenglamasi

$$\left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 = \frac{8\pi G\rho}{3} - \left(\frac{kc^2}{a^2}\right) + \frac{\Lambda c^2}{3}$$

Xarakat tenglamasi

$$\frac{\ddot{a}}{a} = -\frac{4\pi G}{3} \left(\rho + \frac{3P}{c^2}\right) + \frac{\Lambda c^2}{3}$$

Uzliksizlik tenglamasi

$$\frac{d\rho}{dt} = -3H \left(\rho + \frac{P}{c^2}\right)$$

Λ — kosmologik doimiysi, ρ — Koinotning o'rtacha zichligi, p — bosim, s — yorug'lik tezligi.

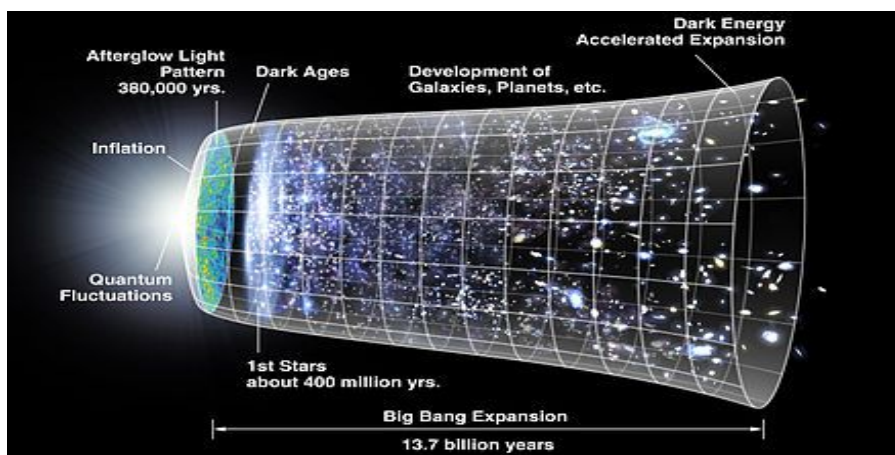
Bosqich	Evolyusiya	Xabbla parametri
Inflyatsiya	$a \propto e^{Ht}$	$H^2 = \frac{8\pi}{3} \frac{\rho_{vac}}{M_{pl}^2}$
Radiatsiya ustunligi $p=\rho/3$	$a \propto t^{\frac{1}{2}}$	$H = \frac{1}{2t}$
Chang bosqichi $p=const$	$a \propto t^{\frac{2}{3}}$	$H = \frac{2}{3t}$
Λ -ustunligi	$a \propto e^{Ht}$	$H^2 = \frac{8\pi}{3} G\rho_\Lambda$

1.2. Katta Portlash va Koinot evolyusiyasining asosiy bosqichlari

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 obyektlargacha 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 iboratdir¹.

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.

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



2-rasm. Koinotning katta portlashdan keyin kengayishi.

Evolyusiya bosqichlari

Vaqt	Epoxyasi nomi	Voqealar	Undan o'tgan vaqt, yil
0	Sigulyarlik	Katt aportlash.	13,7 mlrd
$0 - 10^{-43}$ s	Plank epoxyasi	Zarralar tug'ilishi.	13,7 mlrd
$10^{-43} -$	Buyuk	Birlashgan tasirdan gravitatsion kuchin ajralib chiqqan.	13,7 mlrd

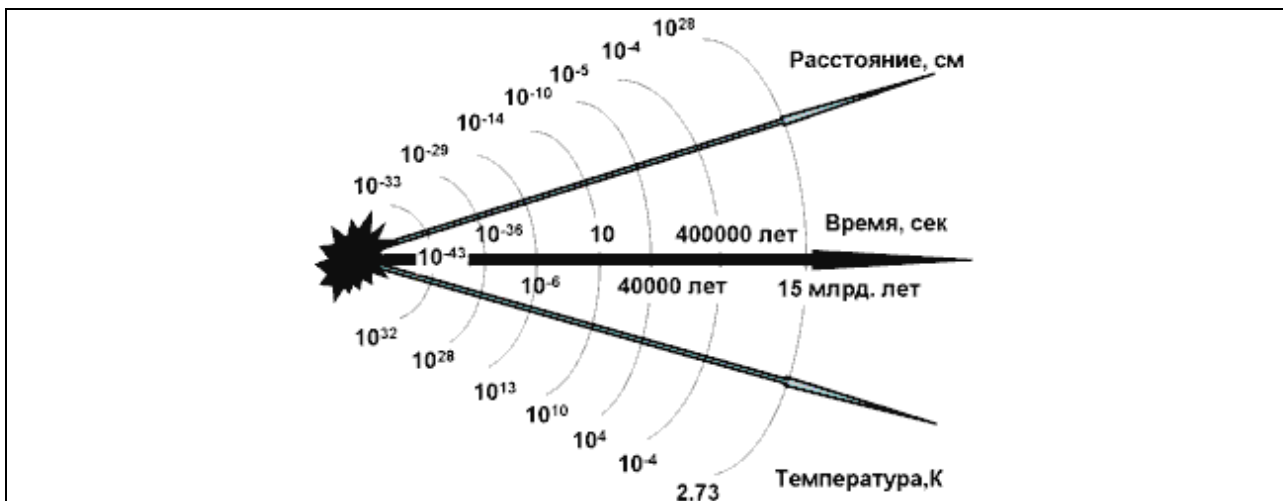
¹ James B. Hartle, Gravity: An Introduction to Einstein's General Relativity, Pearson Education Ltd., 2013, 554 p.

10^{-35} s	birlashish epoxasi	Monomaydonlarning paydo bo'ldi. Buyuk birlashishning tugallanishi.	
10^{-35} — 10^{-32} s ^[2]	Inflyatsiya epoxasi	Vselennaya eksponensialno uvelichivayet svoj radius na mnogo poryadkov. Struktura pervichnoy kvantovoy fluktuatsii , razduvayas, dayot nachalo krupnomasshtabnoy strukture Vselennoy ^[3] . Vtorichniy nagrev.	13,7 mlrd
10^{-32} — 10^{-12} s ^[2]	Elektrkuchsiz epoxasi	Koinot plazma, lepton, foton, bozonlar bilan to'lgan. Superimmetriya buzilgan.	13,7 mlrd
10^{-12} — 10^{-6} s ^[2]	Kvark epoxasi	To'rta kuchlar alohida ajralib chiqqan. Koinot plazma, lepton, fotonlar bilan to'lgan.	13,7 mlrd
3 minut — 380 000 yil	Proton epoxasi	Geliy, deyteriy va boshqa moddalarning sintezi (20 minut). Modda nurlashga nisbatan ustunligi boshlanadi (70 000 yil). Epoxaning oxirida vodorodning rekombinatsiyasi yuz beradi va Koinot issiqlik nurlanish fotonlari uchun shaffofga aylanadi (380 000 yil).	13,7 mlrd
380 000— 550 mln yil	O'rta asrlar	Koinot vodorod va geliyga, relikt nurlanishga, 21 sm da atomar vodorodning nurlanishi bilan to'la. Yulduzlar, kvazarlar va boshqa yorqin manbalar hali tug'ilmagan	13,15 mlrd ^[4]
550 mln — 800 mln yil	Qayta ionlanish	Birinchi yulduzlar, kvazarlar, galaktikalar, ular to'dalari va o'tato'dalari paydo bo'ldi. Vodorod yulduzlar va kvazarlar nurlanishini ta'sirida qayta ionlashdi.	12,7 mlrd
800 mln yil — 8,9 mlrd yil	Modda erasi	Yulduzlararso bulutlar paydo bo'ldi, Quyosh va uning sistemasi shakillanishi boshlandi	4,8 mlrd
8,9 mlrd yil — 9,1 mlrd yil		Yer va boshqa sayyoralar paydo bo'ldi	4,6 mlrd

1.3. Galaktikalarning uzoqlashishi

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'ldi².

² James B. Hartle, Gravity: An Introduction to Einstein's General Relativity, Pearson Education Ltd., 2013, 554 n.



3-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} sekunda 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.

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

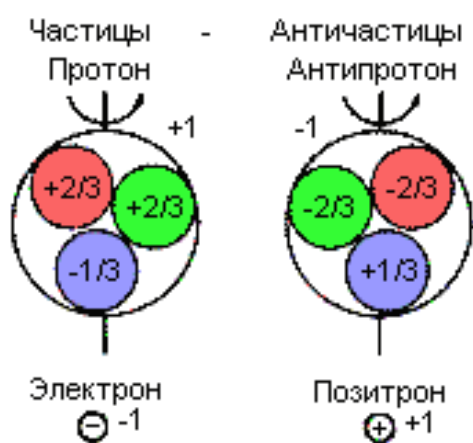
Katta portlash bu dastlabki paytdagi Koinotning kichik xajmida mujassamlashgan ulkan zichlik, temperatura va bosimning kengayish jarayonida pasayib borishidir. Dastlabki paytda Koinot 10^5 g/cm³ zichlikka va 10^{10} K temperaturaga ega bo'lgan. Taqqoslash uchun Quyoshning markazidagi temperatura ushbu xaroratdan 1000 marta kichikdir.

1.4. Inflyatsiya erasi

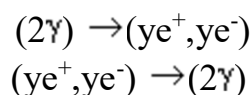
Inflyatsion era deb nomlangan qisqa muddat ichida (10⁻³⁶ sek) kichkinagina koinotimiz fundamental zarrachalardangina iborat bo'lgan. Ushbu fundamental zarrachalar nuklidlar, protonlar va neytronlardan farqli ravishda bo'linmasdir. Ushbu zarrachalar fermionlar bo'lib,

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 lozim³. 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.

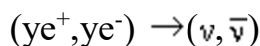
3-rasm. Zarrachalar (proton va elektron) va ularning antizarrachalari – antiproton va pozitron. Agar elektron va pozitron bir-biridan faqatgina elektr zaryadlari bilan farqlansa, proton va antiproton esa ichki strukturalarining farqi bilan ham ajralib turishadi (kvarklar va antikvarklar). Zarracha va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



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



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.

³

T. padmanabhan, Theoretical Astronhysics, Volume I, Cambridge University press, 2010

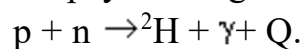
Xozirgi zamon fizik tasavvurlarga ko‘ra Katta portlashdan keyin paydo bo‘lgan fermion va bozonlar bo‘linmas deb xisoblanadi. Bu ularning ichki strukturasi to‘g‘risida ma‘lumotning yo‘qligini anglatadi. Fermion va bozonlar Koinot rivojlanishining 10^{-10} sek gacha massasiz zarrachalar bo‘lgan kichik koinotning “qaynab turgan sho‘rvasi”ning asosiy tashkil etuvchisi bo‘lgan⁴.

Koinot rivojlanishining dastlabki 10^{-36} sekundida yagona ta‘sir nazariyasi barbod bo‘ldi. O‘zaro ta‘silarning 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 hozirgi 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.

1.5. Moddaning paydo bo‘lishi.

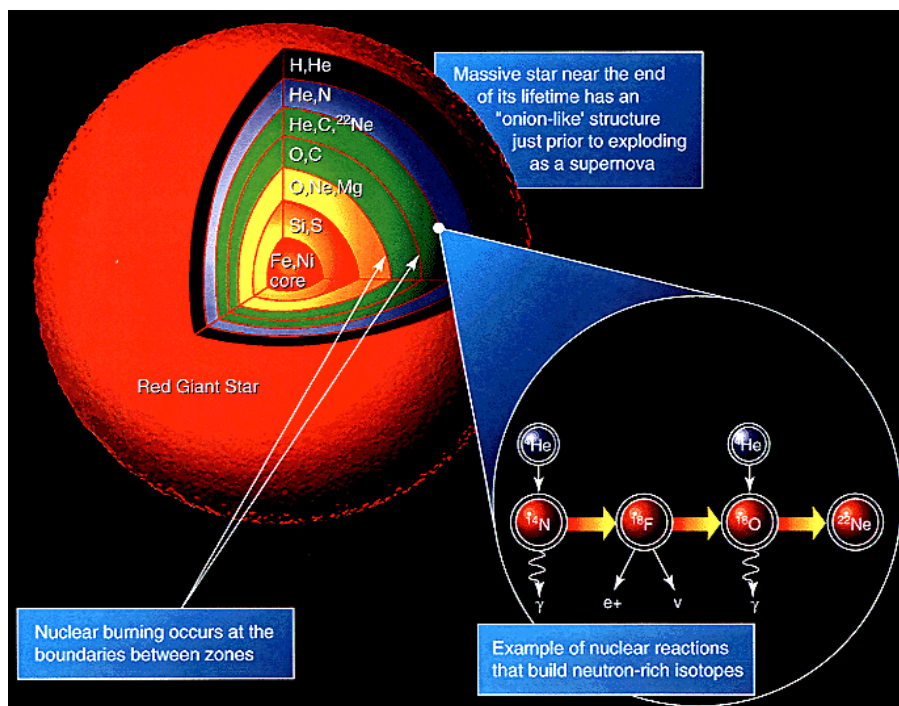
Koinot rivojlanishining radiatsion erasi juda muxim xioblanadi. Aynan shu davrda D. Mendeleyev davriy sistemasini tashkil qiluvchi elementlarning asosi – og‘ir yadrolar paydo bo‘la boshlangan. Ushbu jarayon nukleosintez deb nomlanadi. Eng yengil yadro – proton Koinot paydo boshlgandan 10 sekund o‘tib paydo bo‘lgan. Ushbu davrda Koinotning temperaturasi va zichligi deyteriy – ikkita nuklondan tashkil topgan yadroni sintezi uchun yetarli katta bo‘lib, proton va neytronning to‘qnashishi natijasida paydo bo‘lgan.



Bu yerda $Q = 2.2 \text{ MeV}$ – ushbu sintez reaksiyasida ajralib chiqadigan energiya. Keyin 10-15 minut vaqt ichida ${}^2\text{H}$ deyteriy ${}^3\text{H}$ tritiyga aylanishi, so‘ngra deyteriy va tritiydan ${}^3\text{He}$ geliy yadrosining paydo bo‘lish reaksiyalari sodir bo‘lgan⁵. Hisob natijalariga ko‘ra geliy barcha nuklonlar ichida 24 foizni tashkil qilgan. Hozirgi paytdagi kuzatuv natijalari ham shuni ta‘kidlamoqda.

⁴ povh, K.Rith, C.Scholz, F. Zetsche, particles and nuclei. An introduction to the physical concepts. Springer, 2006.

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



4-rasm. Yulduzlardagi nukleosintezning sxematik ko‘rinishi.

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. Kvarik va leptonlar.
10. Antizarrachalar.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Carroll B.W., Ostlie D.A. An introduction to modern astrophysics. pearson International Edition, 2006, ISBN-13: 978-0805304022
2. James B. Hartle, Gravity: An Introduction to Einstein’s General Relativity, pearson Education Ltd., 2013, 554 p.
3. T. padmanabhan, Theoretical Astrophysics, Volume I-III, Cambridge University press, 2010.
4. povh, K.Rith, C.Scholz, F. Zetsche, particles and nuclei. An introduction to the physical concepts. Springer, 2006.

5. Filchenkov M.L., Gravitatsiya, astrofizika, kosmologiya: dopolnitelniye glavi, «LIBROKOM», 2010.

Internet ma'lumotlari

1. http://hea.iki.rssi.ru/HEAD_RUS/links_k.htm
2. <https://books.google.com/books?isbn=0226069710>
3. <https://books.google.com/books?isbn=0226724573>
4. <https://nuclphys.sinp.msu.ru/>
5. https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D1%81%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%A4%D1%80%D0%B8%D0%B4%D0%BC%D0%B0%D0%BD%D0%B0
6. https://en.wikipedia.org/wiki/Chronology_of_the_universe
7. <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D1%81%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B0%D1%8F>

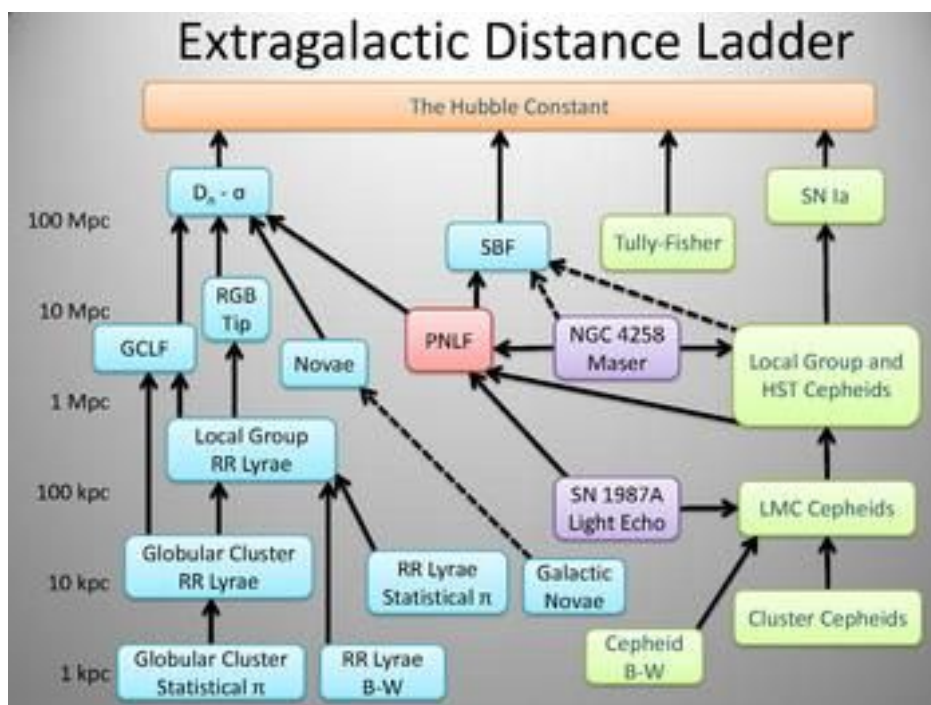
REJA

- 2.1. Astronomiyada masofalar shkalasi
- 2.2. Masofalarni aniqlash usullari
- 2.3. O'tayangi yulduzlar orqali Koinotning kengayishini aniqlash

Tayanch iboralar: Masofalar shkalasi, sefeidalar, o'ta yangi yulduzlar, masofa

2.1 Astronomiyada masofalar shkalasi

Astronomiyada masofalar shkalasi – astronomiyada masofalarni aniqlash bilan bog'liq bo'lgan muammolarning majmuasidir. Masofalar shkalasini hisoblashda ishlatiladigan obyektlar haviviy ravshanligi ma'lum bo'lgan u yoki bu sinfga tegishlidir. Bunday obyektlar standart shag'amlar deyiladi. Ularning qo'rinma ravshanligini hisoblab yopilsa va sinfi ma'lum bo'lsa, ulargacha masofani teskari kvadratlar usuliga tayanib hisoblab topsa bo'ladi.



Masofalar "narvoni"

Galaktik shkalasi:

Trigonometrik parallaks orqali.

Parallaks – manba osmon sferasiga proyeksiyasi natijasida paydo bo‘ladigan burchak. Parallakning ikkita turi bor: yillik va guruhli.

Yillik parallaks – yulduzning massasi markazidan yer orbitasining o‘rtacha radiusi ko‘rinadigan burchak. Yer Quyosh atrofida orbitasi bo‘ylab xarakatlanganligi sababli har qanaqa yulduzning osmon sferasidagi holati doimo surilib boradi. Natijada yulduz osmon sferadada ellipsni chizadi. Ellipsning katta yarimo‘qi yillik parallaksiga teng. Ma’lum bo‘lgan parallaksdan oddiy geometrik hisob kitoblardan Yer markazidan yulduzgacha masofa o‘lchanadi:

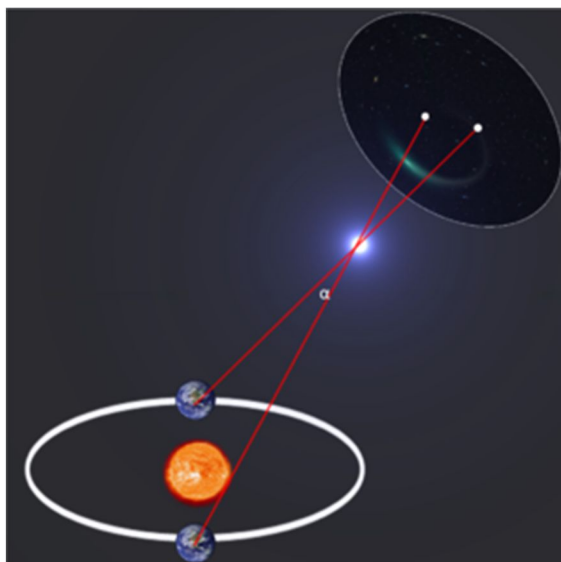
$$D = \frac{2R}{2 \sin \alpha/2} \approx \frac{2R}{\alpha},$$

Bu yerda D — qidirlotgan masofa, R — Yer orbitasining radiusi. Bu yaqinlashtirilgan formula kichik burchaklar uchun yozilgan (radianlarda). Bu formu ushbu usulning asosiy qiy inchiligini ko‘rsatadi: ya’ni masofa kattalashgani sari parallaksning qiymati giperbolik viymati bilan kamayib boradi. Shunigg uchun uzoqdagi yulduzlarning masofasini o‘lchash texnik qiyinchiliklarga taqaladi.

Guruhli parallaksning ma’nosi quyidagidan iborat: agarda biron bir yulduz to‘dasi Yerga nisbatan sezilarli katta tezlikga ega bo‘lsa, unda proyeksiya qonunlariga asosan uning a’zolarining harakatlari yo‘nalishlari bitta nuqtaga intiladi. Bu nuqta to‘daning radianti deyiladi. Radiantning holati yulduzlarning hususiy harakatidan va Dopler effekti tufayli yuzaga keladigan spektral chiziqlarning siljishidan aniqlanadi. Shunda to‘dagacha masofa quyidagi formuladan topiladi:

$$D = \frac{V_r \operatorname{tg}(\lambda)}{4.738\mu},$$

bu yerda μ va V_r , mos ravishda, to‘daga kiruchi yulduzning burchak (yiliga yoy sekundida) va nuriy tezlik (km/seklarda) tezliklarini, λ — Quyosh–yulduz va yulduz–radiant yo‘nalishlarini xarakterlovchi to‘g‘ri chiziqlar orasidagi burchakni, D esa parseklarda ifodalanuvchi masofani ifodalaydi. Faqat Giadlar uchungina sezilarli gruppaviy yillik parallaksiga ega, biroq Hipparcos yo‘ldoshi orbitaga chiqarilgungacha eski obyektlar uchun masofalar shkalasini shu yo‘l bilan kalibrova qilish mumkin edi.



Sefeidlar va Liraning RR rusumidagi yulduzlar bo'yicha.

Sefeidlar va Liraning RR rusumidagi yulduzlarga tegishli masofaning yagona shkalasi, yosh va qari obyektlar uchun masofalar shkalasi ikki tarmoqqa bo'linadi. Sefeidlar, asosan, yangidan shakllanayotgan yulduzlar oblastiga kiradi va shuning uchun ham yosh obyektlardan sanaladi. RR rusumidagi o'zgaruvchi yulduzlar eski tizimga moyil bo'ladi, masalan, ular asosan Galaktikamizning galosidagi sharsimon yulduz tudalarida joylashadi.

Har ikkala rusumdagi yulduzlar ham o'zgaruvchi bo'lsada, biroq ular yangidan shakllangan obyektlar sifatida sefeidlar, asosan yangi tashkil topgan sharsimon to'dalarning "rang– yulduz kattaligi" diagrammasining asosan gorizontal shaxobchasida yotuvchi A–F spektral sinfiga mansub gigant bosh ketma-ketlik yulduzlari bilan mos tushadi. Biroq ulardan standart yoritgichlar sifatida foydalanish usullari turlicha kechadi:

Sefeidlar «pulsatsialanish davri — absolyut yulduz kattaligi»ga doir yaxshi bog'lanish aniqlangan. Bu aftidan sefeidlar masalarining turlicha kattalikda bo'lishi bilan bog'liq.

Liraning RR rusumidagi yulduzlar uchun o'rtacha yulduz kattaligining miqdori deyarli birxil.

Mazkur metod yordamida ularning masofalarini aniqlash, odatda ma'lum qiyinchiliklar bilan kechadi:

1. Buning uchun alohida yulduzlarni ajratish zarur bo'ladi. Somon Yo'li chegarasida bu ishni bajarish ortiqcha qiyinchilik talab etmaydi, biroq bunda masofa qancha uzoq bo'lsa, yulduzlarni ajratib ko'rsatuvchi burchak shuncha kichik bo'ladi.

2. Shuningdek bunda, nurni chnglar tomonidan yutilishini va uning fazoda birjinsli emasligini hisobga olish zarur bo‘lishini unutmaslik lozim.

Bulardan tashqari, sefeidlar uchun boshqa bir muhim muammo bo‘lib qolayotgan narsa –ular uchun «pulsatsiyalanish davri – yorqinlik» oralaridagi bog‘lanishni topishda nol-punktini aniq belgilashdir. XX asr davomida uning miqdoridoim o‘zgarib turdi,shu bois shu yo‘l bilan olingan masofani baholash ham o‘zgarib turdi.Garchi Liraning RR rusumli yulduzining yorqinligi deyarli doim o‘zgarmas bo‘lsada, biroq uning kattaligi og‘ir elementlarning konsentratsiyasiga bog‘liq bo‘ladi.

Vilson-Bapp Effekti.

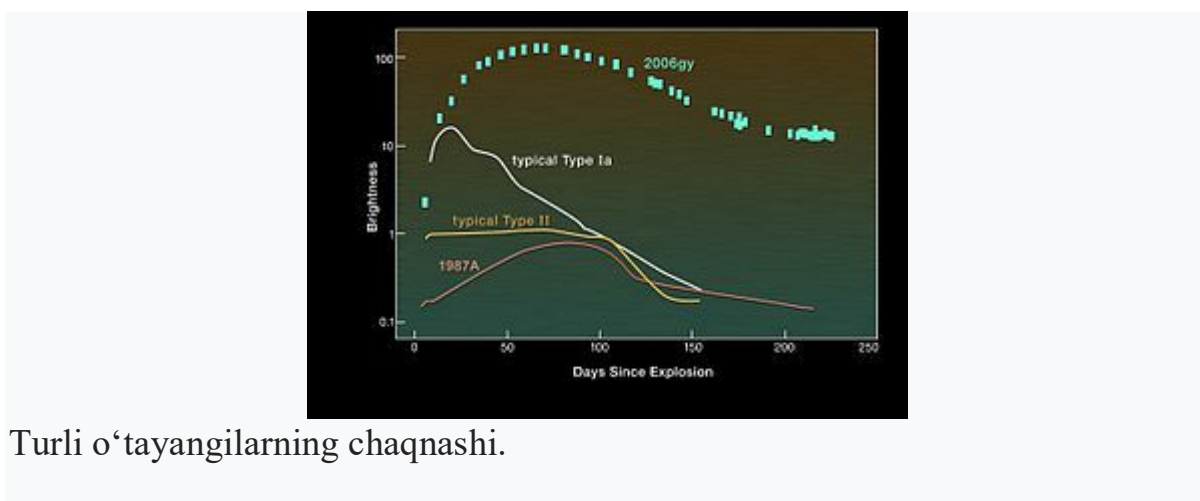
Bu effekt, V (MV) filtr orqali olingan absolyut yulduz kattaligi va uning atmosferasidagi ionlashgan va markazi 3933.7 Å ga mos Ca II ning K1 va K2 emission chiziqlari yarim kengligi orasidagi kuzatishdan olingan bog‘lanishdir.Bu 1957 yilda Olin C. Wilson va M. K. Vainu Bappular tomonidan kashf etilgan.

Indikator sifatida bu metodning asosiy kamchiligi quyidagilarda ko‘rinadi:

- Bog‘lanishning ko‘rinishi, yashiringan parametrlarga bog‘liq ravishdao‘zgarishi mumkin.
- Yulduz qo‘shaloq sistemaning komponentasi bo‘lishi mumkin.
- Yulduz, o‘zgaruvchan bo‘lishi hisobiga chiziqning kengligi kattagina miqdorga o‘zgarishi mumkin.

Galaktikadan tashqi shkalani qurish:

Ia rusumidagi o‘tayangi yulduz bo‘yicha.



Odatda, barcha fotometrik metodlar uchun umumiylikdan tashkari, bu metod yuzasidan aniklangan kamchiliklar va kashf etilgan muammolarga quyidagilar kiradi:

1. K-tuzatish muammosi. Bu muammoning mohiyati shundaki, odatda bolometrik (butun spektr bo'yicha integrallashgan) intensivlik o'lchanadi, balki priyomnikninganiq spektral diapazoniga bo'yicha o'lchanishi oqibatida kelib chiqadi. Bu degan so'z, turlicha qizil siljishga ega manbalar uchun intensivlik turli spektral diapazonlarda o'lchanishi talab etiladi. Buni hisobga olish uchunodatda maxsus K-tuzatma deyiluvchi maxsus tuzatmadan foydalaniladi.

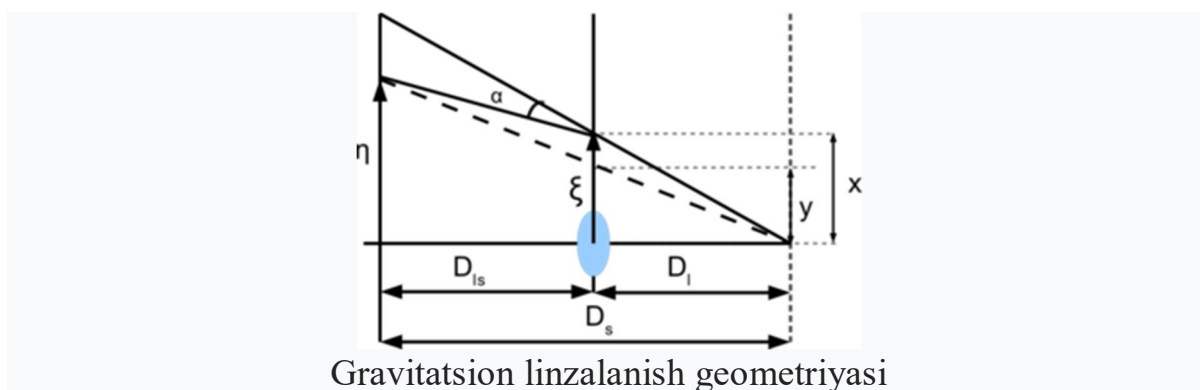
2. Masofaning qizil siljishga bog'liqlikegriligining formasi turli observatoriyalarda va turli instrumentlarda observatoriyalarda o'lchanadi, oqibatda oqimni kalibrovka qilishda muammolar tug'diradi.

3. Ilgari Ia tipidagi o'tayangilar –zich qo'shaloq sistemaga tegishli oq mitti deb, ikkinchi komponent esa qizil gigantdeb qaralar edi. Biroq keyinchalik yangi ma'lumotlar olindi, unga ko'ra, kamida ularning bir qismi ikkita oq mittining qo'shilishidan sodir deb karaldi. Binobarin endi bu podsinfni standart sham sifatida foydalanish o'rinli bo'lmasligini ko'rsatdi.

4. O'tayangi yorqinligining undan oldingi "ajdod" yulduzning ximiyaviy tarkibiga bog'liqligi.

1998 yilda kuzatilgan o'tayangi yulduzning chanashi sabab bo'lib, kuzatuvchilarning ikki guruhi Koinot kengayishining tezlanishi kashf etishdi[5]. Bugun bunday tezlanish shubha tug'dirmaydi, biroq birgina o'tayangi bo'yicha uning qiymatini uzil-kesil aniqlash mumkin emasligi –hali katta qiymatli z ninguchun xatolikning qiymatining kattaligi, boshqa navbatdagi kuzatishlardan olinadigan natijalarga ko'z tikadi.

Gravitatsion linzalar bo'yicha:



Ma'lumki massiv jism oldidan nur o'tayotib, egiladi. Shunga ko'ra, massiv jism orqali utayotgan nurning paralle dastasini, linza kabi, ma'lum bir nuqtada (yoxud bir nechta nuqtada) – fokusda yig'ish qobiliyati borligini tushunish qiyin emas. Bu hodisa gravitatsion linzalanish deyiladi. Agar linzalovchi obyekt o'zgaruvchi bo'lsa, u holda birnecha tasvir hosil bo'ladi. Bunday hol, obyektgacha bo'lgan masofani o'lchashga imkon berishi bilan qiziq, chunki

“linza”ning gravitatsion maydoninig turli qismlarida obyekt nuri tarqalayotganligi bois tasvirlar orasida turli vaqtga kechikish (Quyosh sistemasida kuzatilgan Shapiro effektiga o‘xshash) kuzatiladi

Biroq, amalda sezgir metodning, galaktika galosi potentsiali ko‘rinishiga ta’siri kam bo‘lmaydi. Masalan, SBS 1520+530 galaktikasi bo‘yicha o‘lchangan H_0 ning qiymati foydalanilgan modelga ko‘ra 46 dan 72 km/(s.Mpk) gacha o‘zgaradi.

Qizil gigantlar bo‘yicha:

Yorqin qizil gigantlar bir xil absolyut yulduz kattaligiga— $3.0m \pm 0.2m$ ^[10] ega bo‘ladilar, shunga ko‘ra ular standart sham rolini o‘ynashlari mumkin. Kuzatish orqali birinchi martaba effektini 1971 y. Sendidj aniqladi. Shuning uchun bu yulduzlar, kichik massali qizil gigant yulduzlar (Quyoshnikidan kichik) shaxobasining birlamchi ko‘tarilishining yuqori nuqtasida yoxud gigantasimtotasida yotadi deb taxmin qilinadi.

Metodning asosiy yutug‘i shundaki, qizil gigantlar, yulduzlar shakllanadigan joydan uzoqda va changning yuqori konsentratsiyali joyida yotadi va yutilishni hisoblashni ancha yengillatadi. Ularning yorqinliklari ham yulduzlarning o‘zi va ularni o‘ragan atrof muhit kabi metallilik bilan kuchsiz bog‘langan bo‘ladi. Bu metodning asosiy muammosi—qizil gigantlarning galaktikalarning yulduzli tarkibini kuzatishdan ajralishidir. Buni yechishning ikkita metodi mavjud^[10].

- Klassik–tasvir chetlarini ajratish metodi. Bunda odatda Sobolev filtridan foydalanishadi. tushishning boshi–burilishning boshlanish nuqtasi. Bfzan Sobolev filtri o‘rniga approksimiyalovchi funksiya sifatida Gauss funksiyasi olinb, chetlarni ajratish funksiyasi kuzatishlarning fotometrik xatoligiga bog‘liq bo‘ladi. Biroq bunda yulduzlarning xiralashishiga ko‘ra metod xatoligi ortadi. Natijada, yulduz chaqnashining chegaraviy chaqnashi, apparatura berishi mumkin bo‘lganidan ikki yulduz kattaligicha xatolik beradi.
- Ikkinchi yo‘l–yorqinlik funksiyasini qurish, maksimal haqiqatga yaqinlik metodi bilan amalga oshiriladi. Bunday metod, qizil gigantlarning yorqinlik shaxobchasining funksiyasi darajali funksiya bilan yaxshi approksimatsiyada bo‘lishiga asoslanadi. Bunda asosiy muammo–ayrim hollarda qatorlarda o‘zaro farqlar, maksimal haqiqatga yaqinlik metodi ishlash oqibatida vujudga keladi.

3-MAVZU: KOINOT ZAMONAVIY NAZARIYASI

- 3.1. Yulduzlar haqida o‘mumiy ma‘lumot, ularning temperaturasi.
- 3.2. Yulduzlar spektri:
- 3.3. Yulduzlarni aylanishi va magnit maydoni;
- 3.4. Yangi va o‘ta yangi yulduzlar;
- 3.5. Yulduzlar evolyusiyasi.

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 kuzatiladi⁶.

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.

3.1. 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

⁶

Arnab Rai Choudhuri, *Astronhysics for nhysics*, Cambridge University nress, 2010, 471 n.

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'taylik⁷.

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, YE-yulduz nuri masalan, Yerda osil qilayotgan yoritilganlik, r-yulduzning Yerdan uzoqligi. $L=4\pi R^2 \cdot \sigma T_e^4$ - radiusi (R) yulduznikidek bo'lgan absolyut qora jismni yorqinligi, T_e -uning temperaturasi. Ularni tenglashtirib temperaturani topamiz $T_e=642.3 \sqrt[4]{\frac{E}{\sigma \theta^2}}$; $\theta=206265 \frac{2R}{r}$ yulduzning burchakiy sekundlarda ifodalangan diametri.

Shunday munosabatni Quyosh uchun ham yozish mumkin. Quyoshning $T_e=5700^\circ$ va $m_b=-26^m.85$ ligini iisobga olsak, u iolda m_b - bolometrik yulduziy kattalikka ega yulduzning effektiv temperaturasi

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

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

b) *spektrida energiyani taqsimlanishini o'lchash yo'li bilan T-ni aniqlash.* Bu usul ham yulduz spektrida energiyani taqsimlanishi absolyut qora jismniki singari bo'la degan farazga asoslanadi. Ma'lumki absolyut qora jism spektrida energiyani taqsimlanishi Plank formulasi yordamida ifodalanishi mumkin. Bu usul bir necha usulchalarga ajraladi.

1) Vin siljish qonuniga asosan hisoblash. Vin siljish qonuni yoritqich spektrida energiya maksimumining to'lqin uzunligi bilan temperatura (T_e) orasidagi brjlanishni 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'lqin 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

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

⁷ James B. Hartle, Gravity: An Introduction to Einstein's General Relativity, Pearson Education Ltd., 2013, 554 n.

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 unutmashlik 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.

3.2. Yulduzlar spektri

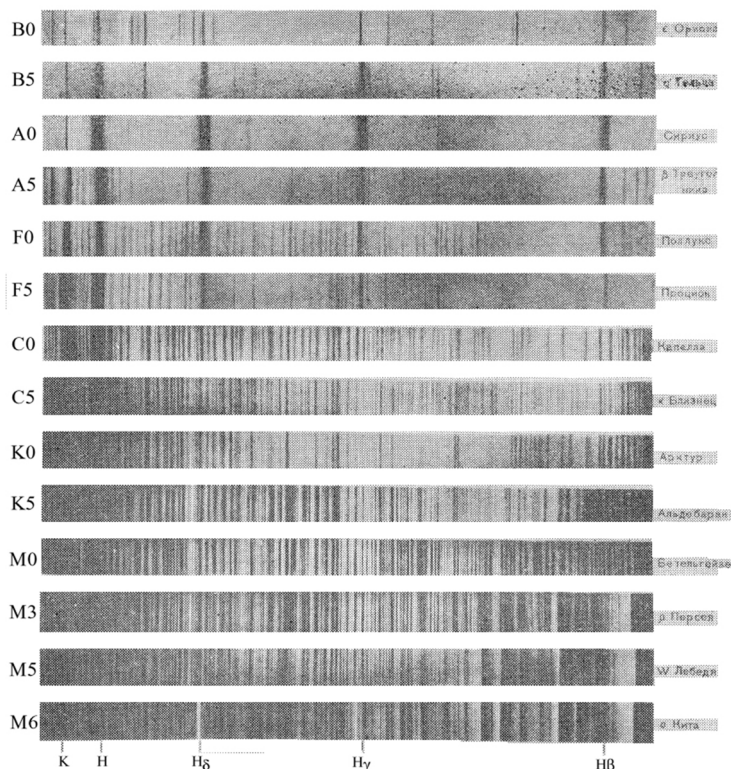
a) Spektral sinflashtirish.

Ko'plab statsionar 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 , K, M , (L, T). Bu harflar ketma-ketligini eslab qolish uchun garvard universiteti talabalar shunday hazil o‘ylab topishgan: Oh, Be A Fine Girl Kiss Me⁸.

O-sinfga mansub yulduzlar spektrida geliy ioni (Ne II) va yuqori darajada ionlangan azot (N III $\lambda 4514 \text{ \AA}$, N IV $\lambda 3479 \text{ \AA}$), uglerod (C III $\lambda 4647 \text{ \AA}$) kislorod (O III $\lambda 3700 \text{ \AA}$, O IV $\lambda 3385 \text{ \AA}$) chiziqlari ko‘rinadi.

V- sinfga mansub yulduzlar spektrid neytral geliy (Ne I $\lambda 5875 \text{ \AA}$) va past darajada ionlangan azot (N II $\lambda 6578 \text{ \AA}$, $\lambda 4267 \text{ \AA}$), uglerod (S II $\lambda 6578 \text{ \AA}$, $\lambda 4267 \text{ \AA}$), kislorod (O II $\lambda 4649 \text{ \AA}$, $\lambda 4119 \text{ \AA}$) va vodorod atomi chiziqlari (N_{α} $\lambda 6563 \text{ \AA}$, N_{β} $\lambda 4861 \text{ \AA}$, H_{γ} $\lambda 4340 \text{ \AA}$) kuzatiladi.



Rasm- 1. Xar spektral sinfga mansub yulduzlarning sinfi

A-sinf, vodorod atomi chiziqlari (N_{α} $\lambda 6563 \text{ \AA}$, N_{β} $\lambda 4861 \text{ \AA}$, N_{γ} $\lambda 4330 \text{ \AA}$) eng intensiv ko‘rinadi. Sumbulaning α -si spektrida vodorod atomi chiziqlari $N_{\alpha+}$, N_{β} , N_{γ} , N_{δ} va iakozo eng intensiv, geliy chiziqlari yo‘qolgan.

F- intensiv vodorod Sirius (α CM) chiziqlari N_{α} , N_{β} . . . bilan birgalikda metall ionlari (Sa II $\lambda 3934 \text{ \AA}$, 3956 \AA) chiziqlari ko‘rinadi. Protsion (α CMi) misol bœlaoladi.

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

K- kalsiy ioni (Sa II) chiziqlari va metallar chiziqlari (G tasma $\lambda 4305 \text{ \AA}$ da $\lambda 4315 \text{ \AA}$) yaqqol ko‘rinadi, molekulalar (T_1O) chiziqlari va tasmalari ko‘rina

8

Arnab Rai Choudhuri, Astrophysics for physics, Cambridge University press, 2010, 471 p.

boshlaydi. Aldebaran (Savrning α -si, α Tau) misol bo'la oladi. M-molekulalar (T_i , O_1 , S_2 , SN) tasmalar va chiziqlar orasida Ti O tasmalari ajralib turadi. Betelgeyze (Orionning α -si, α Ori) misol bo'laoladi.

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

T- sinfga kiradigan yulduzlar spektrida metan (NH_4) va ishqor metallar chiziqlari ko'rinadi.

Oxirgi ikkita sinf (L, T) yaqinda (2000 y.) kashf etildi. G dan boshlangan S-sinf spektrida uglerod (S_2 , SN) molekulalari chiziqlari ayniqsa ajralib turgani uchun bunday yulduzlar uglerodli deb ataladi. Shuningdek K-sinf yonida joylashgan S-sinf spektrida sirkoniy, ittiriy va lantan oksidlari chiziqlari ko'rinadi⁹.

Yulduzlarning fizik ko'rsatgichlarini yana ham aniqroq belgilash maqsadida spektral sinflar ketma-ketligi keltiriladi, asosiy sinflar orasi centa 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 har xil ekan degan hulosaga olib kelmasligi kerak. Chunki chiziqni hosil bo'lishi muhitni temperaturasiga bog'liq. Yulduz spektrida u yoki bu atom chiziqlarini ko'rishini 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 ($\chi = 10$ eV) o'tkazish uchun $T_u = 10^4$ K bo'lishi kerak.

Bunday sharoit A sinfga mansub yulduzlarda mavjud. Agar temperatura $T > 10^4$ (V sinf) yoki $T < 10^4$ (F sinf) bo'lsa vodorod chiziqlari N_α , N_β , N_γ , N_δ -lar intensivligi $T = 10^4$ (A-sinf) dagi qaragandan kam bo'ladi, bunday farq temperatura ayirmasi $|T - T_u|$ ortgan sari kuchayib boraveradi va u ma'lum darajaga $5\ 000^\circ$ yetgach vodorod chiziqlari umuman ko'rinmaydi. Geliy atomlarini uygonish potensial $\chi > 20$ eV, ya'ni vodorodnikidan ikki marta katta, demak geliy atomi chiziqlari hosil bo'lishi uchun $T \approx 20\ 000$ bo'lishi kerak. Bunday sharoit V sinfga mansub yulduzlarda mavjud. A -sinf yulduzlarida temperatura geliy atomlarini

⁹ James B. Hartle, Gravity: An Introduction to Einstein's General Relativity, Pearson Education Ltd., 2013, 554 n.

uygʻongan holatlarga oʻtkazish uchun yetarli emas. Shuning uchun ularda geliy chiziqlari kuchsiz. K, M-sinf yulduzlarida temperatura ancha past (4500-3500 K) va molekularlar hosil boʻlishi uchun sharoit yetarli.

Shunday qilib, har bir kimyoviy element atomlari chiziqlari maʼlum temperaturadagi (sinfidagi) yulduzlarda maksimal intensivlikka ega boʻladi. Bu sinfdan chap yoki oʻng tomonda joylashgan sinflarda intensivlik kamaya boradi. Spektral sinflar chiziqlarni intensivligi boʻyicha belgilanadi. Temperaturani aniqlash uchun oraliq sinflar kiritilgan. A bilan V orasi oʻnta oraliq sinfga boʻlingan.

Agar yulduzni spektri olingan boʻlsa, uni spektral sinfini va temperaturasi (T) ni aniqlash mumkin. Bunday yoʻl bilan aniqlangan T tutash spektrda energiyani taqsimlanishi yoki rang koʻrsatqichi (V-V) boʻyicha aniqlangan temperaturaga mos kelishi isbotlangan. Shuning uchun spektral sinflar oʻrnida T_e yoki V-V qoʻllaniladi. Jadval 1 da bosh ketma-ketlik spektral sinf, T_e va V-V keltirilgan.

1-jadval

	O5	V0	A0	Gʻ0	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)

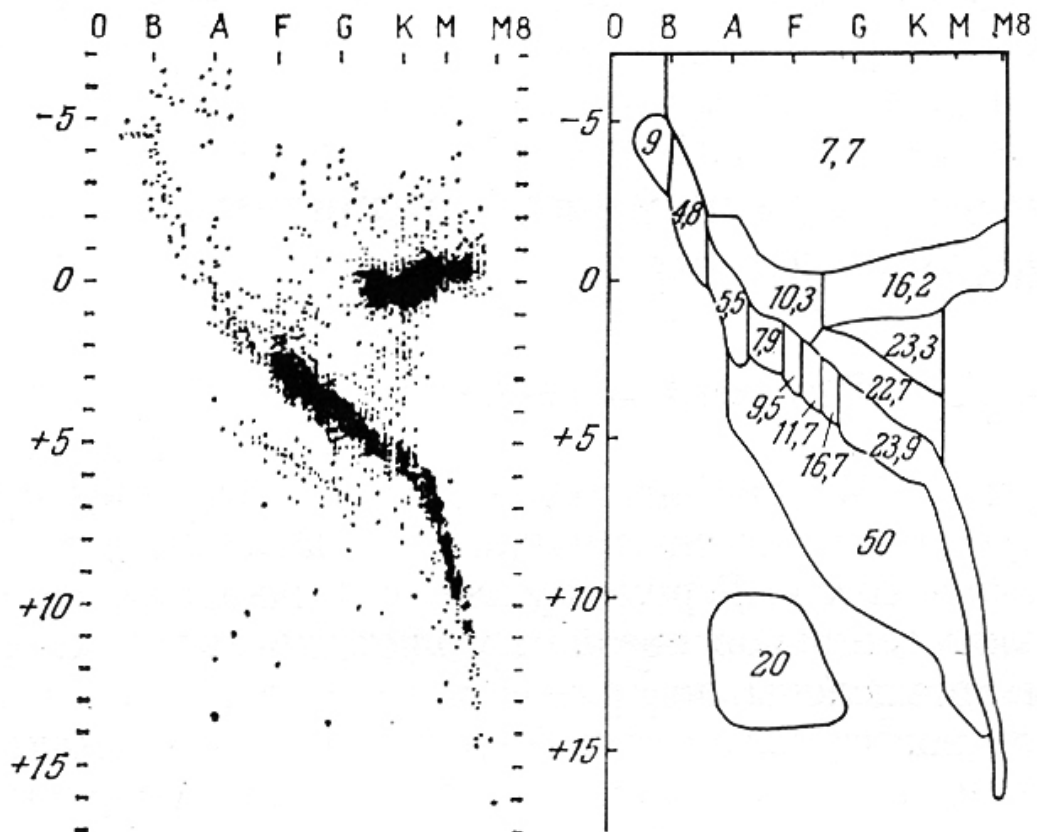
v) Gersshprung-Rassel diagrammasi

XX asr boshlarigacha bir necha yuz yulduzni uzoqligi (yillik parallaksi) oʻlchanadi va absolyut kattaligi (M) hisoblab topiladi. Shu paytga kelib ularning spektral sinflari ham aniqlanadi. 1905 – 1913 yillarda daniyalik E. Gersshprung (1873-1967) va amerikalik G.N. Rassel (1877-1957) bir biriga bogʻliq boʻlmagan holda yulduzlar diagrammasini tuzadilar. Ular ordinata oʻqi boʻylab yulduzlarni absolyut kattaliklari absissa oʻqi boʻylab esa spektral sinflarini qoʻyadilar. Bunday diagrammada har bir yulduz bitta nuqta sifatida oʻrin egallaydi. “Gersshprung-Rassel diagramma” si nomi bilan fanga kirgan, bu diagramma 2-rasmda tasvirlangan¹⁰.

10

Arnab Rai Choudhuri, *Astronhysics for nhysics*, Cambridge University nress, 2010, 471 n.

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.



2-

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

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

Karlik yulduzlar spektral sinfi oldiga kichik d (dwarf), subkarliklar- sd, gigantlar-g, o'ta gigantlar-sg yoki xarf qo'yib belgilanganlar. Masalan, sA yoki sgA-A sinfga mansub o'tagigant, gG-G sinfga kiruvchi gigant, sdM-M sinfga

kiruvchi sub karlik, dG-G sinfga kiruvchi bosh ketma-ketlik yulduzi va wA-A sinfga kiruvchi oq mittilar. Bunday ajratishda spektral chiziqlarni kengligi va intensivligi asos qilib olingan. Bu belgilar oldin chiqqan jadvallar va kitoblarda uchraydi. Xozirgi zamonda ular qo'llanilmaydi. Ular o'rnida rim raqamlari I, II, III, IV, V, VI, VII bilan ifodalanadigan yorqinlik sinflari qo'llaniladi.

3.3. 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) aylanadilar¹¹.

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

3.4. Yangi va o'ta yangi yulduzlar

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

11

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

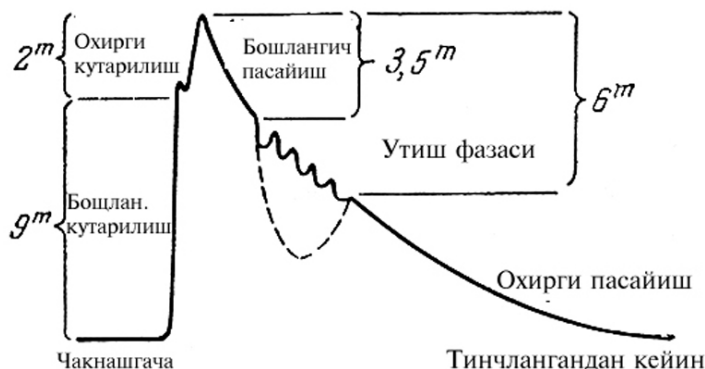
kattaligi $M_V = -8 \div -14^m$ oraliqda bo'ladi. Yorug'ligini o'zgarish amplitudagi $A = 11.9^m$ gacha yetadi. Ikkinchi guruhga past darajada tez va juda sekin yangilar kiradi. Ularning yorug'lik egrisi silliq bo'lmay ichki tuzilishga ega va har xil yangilarniki bir-biriga o'xshamaydi. Bunday yangilarning absolyut vizual kattaligi $M_V = -6 \div -7^m$ oraliqda, yorug'ligini o'zgarish amplitudasi $A = 9.2^m$. Yangilar boshqa galaktikalarda ham kuzatiladi¹². Masalan, Andromeda tumanlii (M 31)da 300 yaqin yangi qayd qilingan. Andromeda tumanligida va bizning Galaktikada (~200 ta) yangilar yulduz tizimning asosiy tekisligi yaqinida, tizim markazi tomon zichlashib boradigan holda kuzatiladilar. Yangining maksimumida absolyut vizual kattaligi ($M_{V,max}$) bilan uni uch birlikka kamayishi uchun ketgan vaqt (t_3) orasida quyidagi statistik bog'lanish topilgan:

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

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

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



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

Maksimumdan keyin spektrda keskin o'zgarishlar ro'y beradi: qisqa to'liqinli tomoniga absorbsion (yutilish) chiziqlar yopishib turgan ko'plab emission polosa (tasma)lar paydo bo'ladi. Absorbsion chiziqlarga endi 1000 km/s dan ortiq harakat

12

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

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.

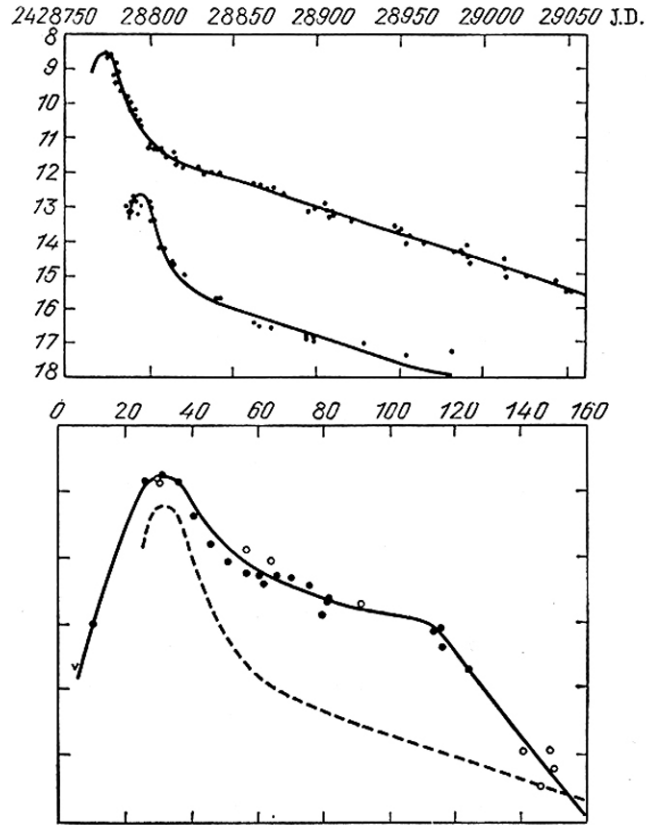
Maksimumdan keyin yangi spektrini Volf-Raye yulduzlar spektriga o'xshashligi ularga qobug'i tez (1500 km/s gacha) kengayayotgan yulduz statusini berishga imkon beradi. Maksimumdan keyin yangi spektrida N, SaII, Ni, Fe II, Ti II, OI va Ci absorbsion chiziqlari kuzatiladi. Bu yangining bosh yutilish spektridir. Bulardan tashqari spektrda ta'qiqlangan chiziqlar [OI] $\lambda\lambda 5577, 6300, 6363$, [NII] $\lambda 5755$ shuningdek kuchaygan He I $\lambda 5876$ 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 bir necha 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'zgarishini 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 N Her 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'ta yangilar 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'ta yangi tasodifan qayd qilinmagan. Hozir bu yulduz atrofida gaz tumanlik kuzatiladi va kuchli radionurlanish (Cas A) sochiladi¹³.



4-rasm. SN I(a) va SN II(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'ta yangilar soni 500 dan oshdi.

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

SN II-ning yorqinligi pastroq: maksimumda $M_{pg} = -17^m$, (A-noma'lum) va

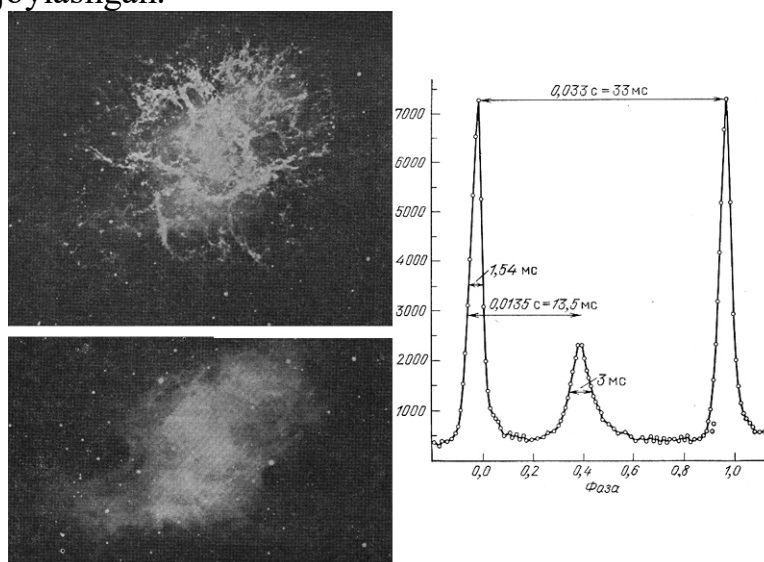
13

T. Padmanabhan, Theoretical Astronhysics, Volume II, Cambridge University press, 2010.

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. SN I-ixtiyoriy shakldagi galaktikalarda, SN II-faqat spiral galaktikalarda kuzatiladi.

SN I 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, Y.P. Pskovskiy, Rossiya). Bu qora tasmalarni tekshirish natijasida SN I 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. SN II-spektri oddiy yangi yulduzlar spektriga o'xshash: qisqa to'liqlik tomoniga yutilish chizig'i yopishib turgan keng emission tasmalardan iborat. Vodород chiziqlari intensiv. SN I-vodorodi yonib tugagan yulduzlardir. SN II-esa yosh yulduzlardir¹⁴.

SN chaqnashi natijasida chaqnanagan 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 (Tau A va Cas A) joylashgan.



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

Qisqichbaqasimon tumanlik 16^m kattalikdagi ichida qo'shaloq yulduz joylashgan. Yulduzlarni bari quyi spektral sinfga mansub ikkinchisi esa juda qaynoq, kuchli ultrabinafsha rang ortiqlikka ega yulduz. Bu yulduz radio va rentgen diapozonlarda impulsar tariqasida nurlanish sochadi. Impulsar oralig'i –davri 0.033 sek. Bu neytron yulduz bo'lib o'q atrofida tez aylanishi (sekundiga 33 marta) natijasida pulsar sifatida ko'rinadi. Np 0532 raqam bilan ro'yxatga olingan bu pulsarni davri sistematik ravishda ortib bormoqda (aylanish tezligi kamaymoqda): 2500 yilda 2.7 marta. Bunday sekinlashuv energiyani 10^{38} erg/s ga kamayishini ko'rsatadi.

14

Arnab Rai Choudhuri, Astronhysics for physics, Cambridge University press, 2010, 471 p.

(Rasm-5).

3.5. Yulduzlar evolyusiyasi

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 manbai hisobiga to'ldirib turuvchi gidrostatik muvozanatdagi obyektning hosil bo'lishidir. Yulduzni «o'lishi» bu tiklanmaydigan muvozanatni buzilishi yoki uni halokatli holatda siqilishidir¹⁵.

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, har xil evolyusiya bosqichidagi ko'plab yulduzlarning yorqinligi bilan temperaturasini bog'lovchi Gershprung-Rassel diagrammasi bilan solishtiriladi va bu yulduzni evolyusion ketma-ketlikda o'rnini aniqlashga yordam beradi. Bu usul yulduz to'dalari (tarqoq va sharsimon) uchun qo'llanilganda ayniqsa yaxshi natija beradi. Chunki to'da a'zolari bir vaqtda bir xil kimyoviy tarkibdagi tumanlikdan hosil bo'lganlar.

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

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

15

Arnab Rai Choudhuri, Astronhysics for physics, Cambridge University press, 2010, 471 p.

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 kerak.

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 obyekt (bulut bo'lagi) protoyulduz deb ataladi. Bunda magnit maydonsiz va aylanmaydigan sferik simmetrik protoyulduz birnecha bosqichlarni bosib o'tadi. Dastavval birjinsli va izotermik bulut o'zining issiqlik nurlanishi uchun tiniq va kollaps energiya yo'qotish natijasida boshlanadi. Chang gaz zarralarini kinetik energiyasi hisobiga issiyboshlaydi va unda energiya issiqlik uzatuvchanlik natijasida tarqalaboshlaydi va protoyulduzni tashqi chegarasidan issiqlik nurlanishi sifatida fazoga sochiladi (energiya yo'qotish). Birjinsli bulutda bosim gradiyenti yo'q va siqilish erkin tushish sifatida boshlanadi. Siqilish boshlangandanoq bulutda tovush tezligida uning markazga tomon tarqaladigan siyraklashish to'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 dovom 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

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

Qobug'dan o'zakka modda tushishi (akkretsiya) natijasida uning temperaturasi 2000 K ga yetguncha adiabatik ko'tariladi. Temperatura 2000 K ga yetgach vodorod molekulalari parchalana boshlaydi 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 akkrektsiyasi davom etadi, temperaturani ko‘tarilishi davom etadi. Endi o‘zakda vodorodni ionlanishi boshlanadi va yuqoridagi o‘zakni qayta tuzilishi ro‘y beradi.

O‘zakni qobug‘ 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 obyekt sifatida kuzatiladi. Ayrim massiv yulduzlarda qobug‘ o‘zakda yadro reaksiyalari boshlanguncha qoladi. Protuyulduz kollapsi $10^5 - 10^6$ yil davom etadi. o‘zak tomonidan yoritilayotgan qobug‘ qoldiqlari yulduz shamoli tasirida tezlatiladi. Bunday obyektlar 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				

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 molekulyar massasi oshiradi, gidrostatik muvozanat uchun markazda bosim va temperatura ko'tariladi, yorqinlik oshadi, qobug' tiniqlashadi. Katta miqdordagi energiya yo'qotishni taminlash uchun o'zak siqilaboshlaydi, qabug' esa kengayaboshlaydi. G-D diagrammada yulduz BKK dan o'nga siljiydi. Massasi katta yulduzlar BKK ni birinchilar qatori tark etadi. $M \cong 15 M_{\odot}$ 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/cm^3 ga yetadi va modda neytrallashadi. 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).

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.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. James B. Hartle, Gravity: An Introduction to Einstein's General Relativity, Pearson Education Ltd., 2013, 554 p.
2. Arnab Rai Choudhuri, Astrophysics for physics, Cambridge University press, 2010, 471 p.
3. Max Camenzind, Compact Objects in Astrophysics, Springer, 2007, 682 p.

4. T. padmanabhan, Theoretical Astrophysics, Volume I-III, Cambridge University press, 2010.

5. povh, K.Rith, C.Scholz, F. Zetsche, particles and nuclei. An introduction to the physical concepts. Springer, 2006.

6. Bochkarev N.G.b Magnitniye polya v kosmose, M.: Knijniy dom «LIBROKOM», 2011. – 216 s.

Internet ma'lumotlari

1. http://hea.iki.rssi.ru/HEAD_RUS/links_k.htm
2. <https://books.google.com/books?isbn=0226069710>
3. <https://books.google.com/books?isbn=0226724573>
4. [https:// nuclphys.sinp.msu.ru/](https://nuclphys.sinp.msu.ru/)

REJA

- 4.1. *Faol galaktikalarning kuzatuv ma'lumotlari. Faol galaktikalarning modellari*
- 4.2. *Kvazarlarning umumiy hossalari va turlari.*
- 4.3. *Kvazarlarni Koinotni tadqiqot etishdagi o'rni: Kvazarlarni gravitatsion linzalanishi*

Tayanch iboralar: *Kvazarlar, faol galaktikalar, akrretsiya diski, radionurlanish*

§4.1 Faol galaktikalarning kuzatuv ma'lumotlari. Faol galaktikalarning modellari

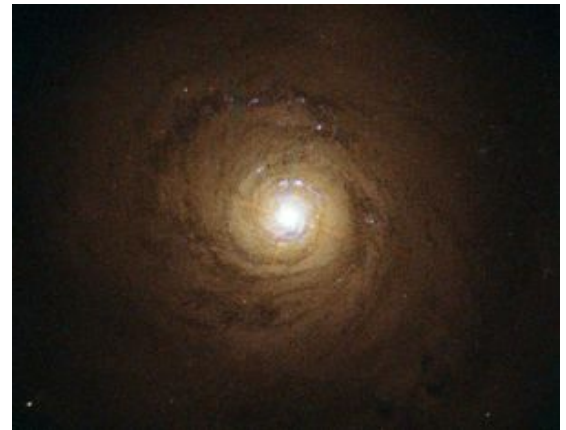
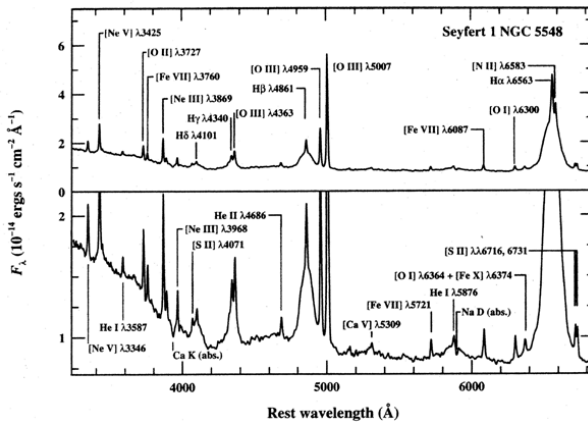
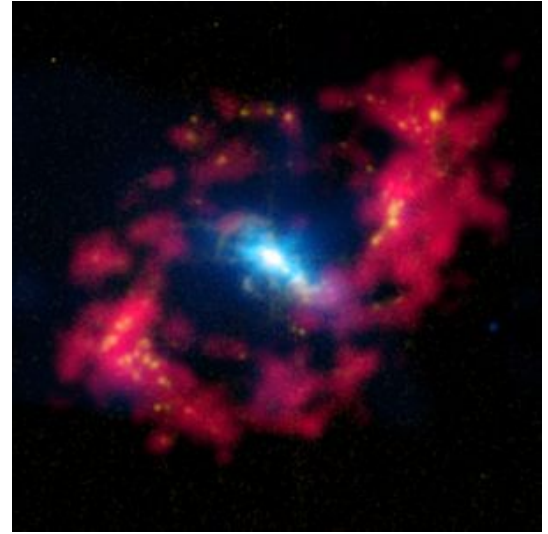
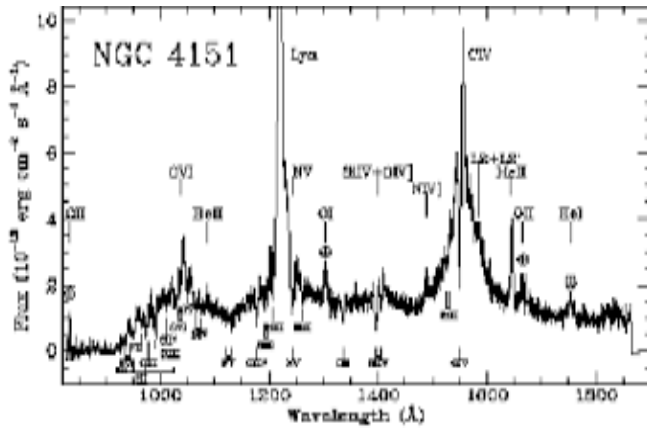
Faollik haqida umumiy tushuncha beramiz. Umumiy holda faol galaktikalar deganda har qanday normal galaktikalarni tushinamiz. Normal galaktikalar 10^9 – 10^{11} yulduzlardan iborat bo'lgan issiqlik qonunlariga asoslangan muvozanat jarayonlari kechayotgan dinamik sistemaga aytiladi. Bunday sistemalar gravitatsion barqaror shakllarga ega bo'lishi, yani normal galaktikalarning nurlanishi bilan belgilanadi. Normal galaktika tortishish kuchlari orqali bog'langan. Har qanday galaktika normal galaktikaning ta'rifi bilan farqlansa u faol galaktika deyiladi. YA'ni faol galaktikalarning noissiqlik nurlanish manbalari mavjud bo'lishi, gravitatsionbarqarorlik alomatlari ko'rish mumkin. Faol galaktikalarning nurlanishi radio, infraqizil, ultrabinafsha, rentgen diapazonlarda maksimumga ega. Turiga qarab, uning amplitudasi normalarnikidan $10 \div 10$ ming marta katta bo'lishi mumkin [1].

Normal galaktikaning relaksatsiya vaqti 10^{10} yilgacha bo'lishi mumkin. Faolgalaktikalarda esa 10^8 yilga teng. Relaksatsiya vaqti bu sistemaning butunligicha bir holatdan ikkinchi holatga o'zgarishiga talab etiladigan vaqt. Faol galaktikalar moddasining kengayishi yoki otilib chiqishini ham kuzatilishi mumkin, shunda moddaning tezligi bir necha ming km/sekga yetib irtadi. Faol galaktikalarda faolliki jarayonlari ularning butun hajmida emas, balkim faqat yadrosida ro'y beradi. Shuning uchun ham faol o'zakli galaktikalar deyiladi.

Faol galaktikalar yoki ularning faol yadrolarining umumiy hususiyatlaridan shu kelib chiqadiki – faol galaktikalr yoki ularning o'zaglarida kechayotgan jarayonlarni ularning tarkibiga kiruvchi yulduzlar yoki gaz-chang komplekslarning hususiyatlari bilan tushuntirib bo'lmaydi [2].

Birinchi bo'lib faol galaktikalarning bunday hususiyatlariga 40–yillari Karil Seyfert e'tibor bergan edi. U spiral galaktikalar orasida spektral chiziqlari normal

bo‘lmagan bir necha galaktikalarni topgan edi. Bu dinamik evolyutsiyasi vaqtiga nisbatan o‘ta qisqa vaqtli faollik mavjudligini ko‘rsatar edi.



1-rasm. NGC4151 va NGC 5548 Seyfert galaktikalarning spektrlari va tasvirlari.

Spektral chiqizlarning kengligi 8000 km/sekga to‘g‘ri keladi. Bunday kata tezliklar dispersiyasini oddiy jarayonlar bilan tushuntirib bo‘lmas edi, uning uchun faqat portlovchi jarayonlarni jalb etish kerak bo‘lgan. Bu juda qiziqarli ma‘lumot bo‘lib chiqdi, chunki o‘sha davrda spiral galaktikalar bir necha milliard yillar avval shakillangan o‘ta barqaror tizimlar deb hisoblanar edi. Undan keyin galaktikadan tashiqi o‘bektning markazi bo‘lmish Oqqush A radio manbasi topildi. Shunda radiomanbasi sifatida million yorig‘lik yillar masofaga yoyilgan magnit maydonda harakatlanayotgan relyativistik elektronlarning sinxrotron nurlanishi mexanizmi taklif qilingan edi. Bu gipoteza noisliqlik nurlanish mexanizmlarining muhim roli mavjudligini ko‘rsatgan. Hisob kitoblarga ko‘ra Oqqush A ob‘ektining kuzatilayotgan radionurlanish oqimini tushuntirish uchun tez elektronlar va magnit maydonlarning energiyasi taxminan 10^{60} erg ga teng bo‘lishi kerak ekan, bu esa o‘z navbatida $10^6 M_{\odot}$ moddaning to‘liq energiyaga almashishiga to‘g‘ri keladi. Bundan tashqari massasi $10^{10} M_{\odot}$ ga teng bo‘lgan butun galaktika energiyani

yulduzlardan ham effektiv ravishda hosil qilishi kerak.

Faol galaktikalarda $10^7 - 10^8$ yil davomida $10^{60} - 10^{62}$ erg enirgiya ajralib chiqishi mumkin. Bu ravishda energiya ajralib chiqishi Katta portlashda keyin ikkinchi o'rinda turadi. Kuzatuv va nazariysi hisob kitoblarga asoslangan holda faol galaktikalarning quyidagi zaruriy, ammo etarli bo'lmagan shartlari ishlab chiqishga imkon berdi:

- massiv yulduzlar sistema markazida massasi katta bo'lgan va tez aylanadigan o'ta kompakt, yani qora o'ra bo'lishi;

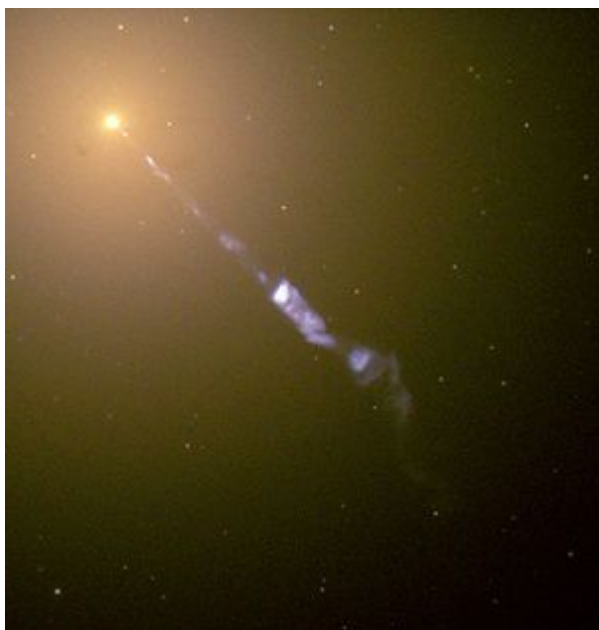
- ushbu qora o'ra atrofida yetarli miqdorda modda bo'lib, u kata tezlik va intensivlik bilan markazga akkretsiyani ta'minlab berishi kerak;

- yadro atrofida magnetlangan tez aylanadigan akkretsiya diski hosil bo'lishi kerak, ushbu disk tekisligida perpendikulyar tomonlarga tovushdan tez, o'ta ingichka shakilda (jet) modda otilib chiqishi kerak

- otilib chiqqan moddada ko'p miqdorda zaryadlangan zarralar bo'lishi kerak. Ularning tezligi relativistikasi chegaragacha yetishi mumkin va ular $10^{42} - 10^{48}$ erg/sek tezlik bilan noisqlik enirgiyani taminlab beradi.

Oxirgi yillarda kuzatuv natijalari asosida ob'ektlar aynan faol galaktikalar tipiga tegishlilik mezonlari ishlab chiqilgan.

1. Avvalom bor u yuqori ravshanlikga ega bo'lishi kerak;
2. Ultrabinafsha, infraqizil, rentgen va radio diapozonlarda ortirmaga ega bo'lgan (normal galaktikalarga nisbatan) bo'lgan noisqlik nurlanish mavjudligi;
3. Bu ob'ektlar tez o'zgaruvchan va nisbatan kichik o'lchamlarga ega bo'lishi kerak. Odatda ultrabinafsha diapozondagi o'zgarishlar bir necha minut davom etadi, optik yoki radiodiapozonlardagi o'zgarishlar bir necha o'n yillar davom etishi mumkin;
4. Ularning tasvirlari pekulyar (g'ayri oddiy) ko'rinishga ega yani markaziy qismi vatashqi qismlari orasiga yuqori kontrast mavjud;
5. Tashqi ko'rinishi bo'yicha ular portlovchi jarayonlarni yoki jet shaklidagi otilib chiqqan moddani va kata tezlikda [harakatlanayotgan gaz oqimlarini ko'rsatishi kerak;
6. Ularda gravitatsion beqarorlik alomatlari kuzatilishi lozim. Bu faol galaktikalar ichidagi o'ta intensive modda almashishini ko'rsatadi;
7. Spektrlarida o'ta keng spectral chiziqlarning mavjudligi va ular noisqlik tabiatiga ega bo'lish kerak;
8. Spektrlardan ularning manbasida kuchli magnit maydonlari borligini aniqlash mumkin, masalan qutblanishi yordamida.

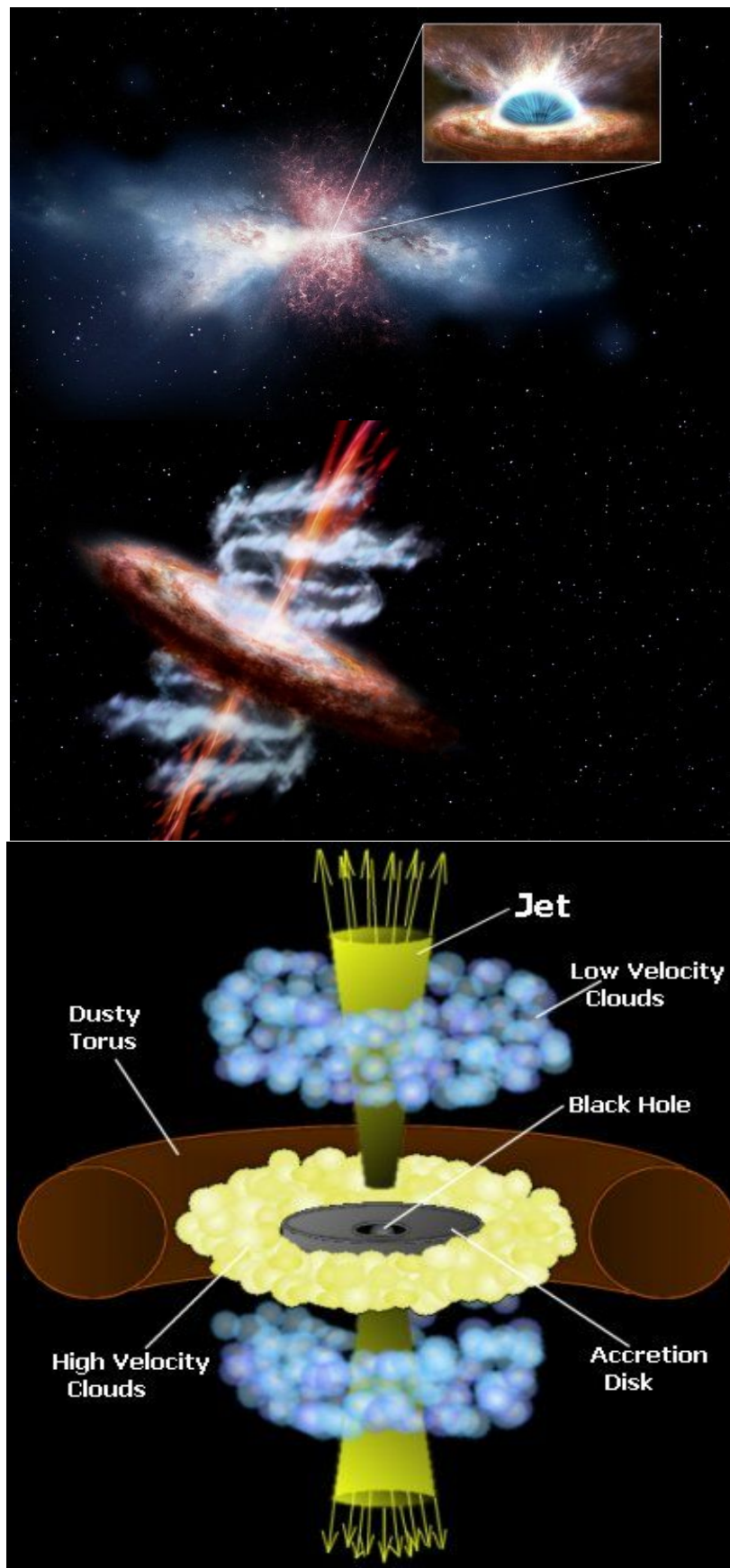


2-rasm. M87 – gigant faol elliptik galaktika. Galaktika markazidan relyativistik oqim (jet) otilib chiqmoqda.

1-Jadval. Faol galaktikalrning tipik yorqinliklari				
Galaktika tipi	Yorqinlik (erg) / diapazon			
	Radio	infraqizil	optik	rentgen
Normal spiral	$5 \cdot 10^{38}$	$3 \cdot 10^{42}$	$4 \cdot 10^{43}$	$3 \cdot 10^{39}$
Radiogalaktika	$10^{42} \div 10^{45}$	$2 \cdot 10^{42}$	10^{44}	$3 \cdot 10^{41}$
Seyfert	$10^{40} \div 10^{45}$	$3 \cdot 10^{46}$	$5 \cdot 10^{43}$	$10^{42} \div 10^{44}$
Kvazar	$10^{44} \div 10^{46}$	$4 \cdot 10^{47}$	$10^{46} \div 10^{47}$	10^{46}

Faol galaktikalarning soddalashtirilgan, umumiy tuzilishini quyidagicha tasvirlashimiz mumkin. Bu ob'ektlar murakab tuzilmali sistemalaridir va ularning markazlarida butun sistemani boshqaruvchi “motor” mavjud deb tasvirlashimiz mumkin. Aynan shu markaziy tuzilma ushbu sistemalardan yuqori energiyalarga ega bo‘lgan elektronlar, magnit maydonlar va issiq gaz shaklida otilib chiqaytgan energiya va moddaning birlamchi sababchisi bo‘lishi kerak. Ushbu markaziy sohadan tashqarisida sinxrotron nurlanish hosil bo‘lishi sohasi joylashgan. Uning xarakterlik o‘lchami tahminan $10^{13} \div 10^{15}$ sm. Endi aynan bu soha sinxrotron nurlanishga hos bo‘lgan spektrning eksponensial xarakteri va qutblanishga ega bo‘lgan radionurlanishga javobgardir. O‘ta katta quvvatli bo‘lgan infraqizil nurlanishning manbasi ham noisliqlik xarakteriga ega bo‘lishi hamda u sinxrotron nurlanishni chang tomonidan qayta nurlanish mexanizmlari bilan birgalikda kombinatsiyani tuzilishi mumkin. Hisob-kitoblarga ko‘ra, seyfert galaktikalar yadrolarida sinxrotron nurlanish sohalari o‘lchamlari 10^{16} sm ga teng va u o‘zidan $10^{50} - 10^{52}$ erg energiya chiqaradi, kvazarlar holida esa 10^{54} erg energiya talab

etiladi.



3-rasm. Faol galaktikalarining tuzilishi misollari.

Bu erda faqat tez elektronlar va magnit maydonlar haqida gap ketyapti. Bu energiyayo'qotishlar xarakterlik vaqti $T \sim E/L$ davomida tiklanishi kerak, bu erda L – manbaning yorqinligi. 3S273 uchun $L \sim 10^{48}$ erg/sek, $E \sim 10^{54}$ erg, demak T bu holda 1 oyga teng. Demak, kvazar holatida bunday katta masshtabda energiya ajralib chiqishi jarayoni qisqa vaqt davom etishi kerak va $\sim 10^{10}$ yildan ortiq davom eta olaolmaydi.

Ushbu markaziy manbadan keyin radionurlovchi diffuz bulutlar sohasi yotadi. Ba'zi manbalarda chaqnashlar deyarli har yili takrorlanadi. Natijada energiyalari $\sim 10^{52}$ ergdan ortiq bo'lgan elektronlar va magnit maydonlarni qamrab olgan bulutlar hosil bo'ladi. Yana ham tashqariga ketsak katta tezlikda otilib chiqqan gazning sohasi joylashgan. Bu soha hamma faol galaktikalarda kuzatiladigan keng emission chiziqlarni beradi. yanada uzoqlashsak, yutilish chiziqlari hosil bo'ladigan sohalar joylashgan. Uning to'q chegaralari markaziy ob'ektdan 10^{21} - 10^{22} smda joylashgan bo'lib, faol galaktikaning o'zining eng tashqi qatlami sifatida qabul qilinadi. Aniqroq qilib aytganda, o'zagidagi faollik bu sohalarga o'zining bevosita ta'sirini ko'rsatuvchi eng uzoq sohadirva umuman endi galaktikadan tashqarida, 0.1-10 Mpk masofalarida ko'pgina hollarda o'ta cho'zilgan radionurlanish manbalari kuzatiladi va ular, o'z vaqtida, plazma bulutlari shaklida markaziy ob'ektdan otilib chiqarilgan edi.

Galaktikalarning markazlarida kuzatiladigan faollikni tushuntirib berish uchun qator gipoteza va nazariyalar ishlab chiqilgan edi. Shunda har qanaqa faol galaktikalar markazlarida kechayotgan faollik jarayonlari tushuntirish uchunularni ochilgandan beri nazariyalar, g'oyalar, gipotezalar taklif qilingan edi. Ular sonlari ko'p lekin har qanday gipoteza faol galaktikalarga mos bo'lgan kuzatuv natijalarni tushuntirib berishi lozim [2]:

1. Bu ntz elementar zarralar hamda magnit maydonlar shaklida 10^{63} erg energiyani qamrab olgan va nurlanish intensivligi kamida 10^{48} erg/sek bo'lgan sistemalaridir.
2. Ulardan ham gaz shaklida, ham relyativistik plazma shaklida otilib chiqayotgan modda mavjud. Otilib chiqqan moddaning massasi markaziy ob'ektning massasiga nisbatan 1% dan oshishi mumkin.
3. Kichik o'lchamlar (tahminan 10^{13} - 10^{15} sm). Bu haqda bizga ularning tez o'zgaruvchanligi, o'z yutilishi df boshqa jarayonlar aytib beradi.
4. Modellar albatta sistemalarining kelib chiqishi va evolyusiyasiga doir muammolarni ham yecha olishi kerak.

Takliflarning ko'pchiligi ishonarliq testidan o'tolmagan, ammo ularning ayrimlari astromlarga xaqiqatga yaqinlashishda ancha katta yordam berishdi va ular zamonaviy faol galaktikalar nazariyasining asosi bo'lib xizmat qilishdi. Masalan, birinchilardan bo'lib galaktikalardagi chaqnashishilar gipotezasi taklif qilingan edi. Ushbu gipotezaga ko'ra tez zarralarning tezlanishi, xuddi Quyosh singari, o'ta yangi yulduzlarning chaqnashlarida sodir bo'lishi mumkin.

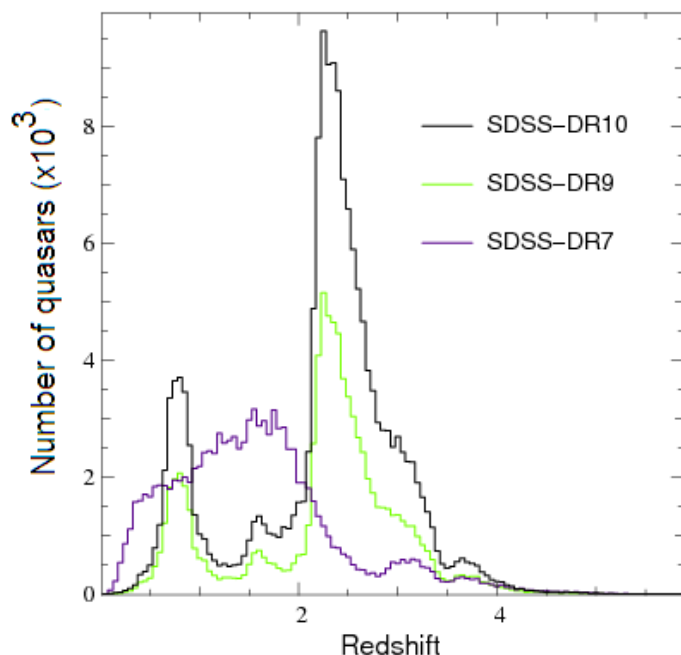
Zaryadlangan zarralarning tezlanishi qaysi mexanizm orqali yuzaga kelishi noma'lum albatta, ammo bizga ma'lumki Quyoshning tuliq yorqinligiga nisbatan bu jarayonning effektivligi juda past. Bu erda zaryadlangan tez zarralarning magnit maydonning kuchlanish chiziqlarining o'zaro kesishishi ta'sirida tezlanishi xaqidagi g'oiya qiziqarli qiziqarli bo'lib qoldi. Keyin o'ta yangi yulduzlarning ketma-ket portlashlari gipotezasi taklif qilindi. Gap shundaki, galaktikalar yadrolarida o'ta yangi yulduzlarning yaqnashishi chastotasi galaktikaning boshqa sohalariga qaraganda juda katta. Bitta chaqnashdagi to'liq enenrgyai chiqishi miqdori 10^{51} erg energiya teng bo'lsa, unda, o'sha paytdagi tassavrularga ko'ra, eng kuchli manbalardagi energiya chiqishini tushuntirib berish uchun bir yilda 10^4 o'ta yangilar chaqnashishlari talab etiladi. Bu haq bo'lganda, galaktikalar aktiv fazasini o'ta qisqa vaqt davomida tugatib bo'lar edi. Bu g'oyaning abzalliligi shundaki, bu erda birinchi bo'lib sinxrotron nurlanish mexanizmi taklif qilingan edi. Shunda jarayon qanday kechmasin, u albatta noisqlik nurlanishga olib kelar edi. Ammo bu modelda, xamma chaqnovchi jarayonlarni jalb etuvchi gipotezalar singari, o'ta kuchli o'zgaruvchanlik alomatlari kuzatilishi kerak edi – xattoki bir sutka ichida bir necha yulduz kattaligiga. Ammo ravshanliklarning katta o'zgarishlari kamdan-kam uchraydi. Boshqa gipotezaga ko'ra, faollik yulduzlarning to'qnashishlari natijasi bo'lishi mumkin ekan. Galaktikalar markazlarida o'ta zich yulduzlar kondensatsiyalari mavjud deb qabul qilsa bo'ladi. Ularning zichligi 10^{11} pk^{-3} va xaraklanish tezliklari iya $\sim 10^4$ km/sek bo'lsa, unda bir yil ichida bir nechta yulduzlar aro to'qnashishlar sodir bo'lishi mumkin. Har bir to'qnashishda tahminan 10^{51} erg energiya ajralib chiqadi. Ammo bu yerda noisqlik shaklidagi energiya qayerdan chiqib kelishligi noma'lum va tushunarsiz. Bundan tashqari bunaqa jarayon faqatgina bir necha yul yil davom etishi mumkin. Bu esa o'z navbatida juda qisqa aftiv davrning yashash vaqtiga olib keladi. Bu xozirgi kundagi kuzatuv ma'lumotlariga to'g'ri kelmaydi. Axir ma'lum bo'lgan kvazarlarning o'zi bir necha yuz mingdan ortgan. Undan keyin o'tayulduz gipotezasi taklif qilindi. Massasi 10^6 - $10^8 M_{\odot}$ teng moddaning gravitatsion siqilishi juda katta miqdordagi energiya ajraladi. Shvarsschild radiusigacha bo'lgan kollaps juda effektiv energiya chiqishiga olib keladi: 10^{60} - 10^{62} erg. Ammo bu energiya qaysi shakilda erkin xolga o'tishi noma'lum. Kuchli magnit maydonlar va sinxrotron nurlaniishning paydo bo'lishi juda kichik extimollikga ega. Umumiy siqilish kata ko'rinishdagi energiya chiqishiga olib kelishi mumkin va u issiqlik shaklida bo'lishi katta extimolliroqdir. Bundan tashqari, kollapsning o'rtacha davomiyligi vaqti 10^6 yilga qaraganda juda qisqa bo'ladi, va nihoyat, zamonaviy sixrotron nurlanishi nazariyasigacha bo'lgan oxirgi bosqich spinarlar gipotezasi bo'lgan. Bu yerda faollikning manbasi, pulsarlar singari, massasi 10^8 - $10^{10} M_{\odot}$ bo'lgan gigant aylanuvchi magnitlangan o'tayulduzdir. U gaz buluti va unga bog'langan magnit maydonning siqilishi natijasida paydo bo'lyapti. Harakat momenti miqdori va magnit oqiminining saqlanishi aylanish energiyasi $W_{ni} \propto 1/R^2$ proporsional holda oshishiga olib keladi. Aylanishning oshishi ancha davom etadi, va ob'ektning aylanish chastotasi $\Omega \sim (G\rho)^{-1/2}$ tartibiga etganda to'xtaydi (bu erda

$\rho \sim M/R^3$). Bu bosqicha magnit maydonining mavjudligi sistema tomonidan asta sekin energiya chiqarishiga va oqibatida momentning yo‘qolishiga olib keladi. Bu nurlanish yoki tez zaryadlangan zarralarning tezlaniishi bilan bog‘liq bo‘lishi mumkin, yoki magnit-dipol nurlanishi ham bo‘lishi mumkin. Bu holda, u ham katta miqdorda energiya saqlanib qolinishi mumkin va u keyin noisqlik shaklida erkin holatga o‘taoladi. Bunday aylanuvchi sistemalarda saqlangan energiya miqdori 10^6 yilga etishi mumkin va shunda nurlanish juda effektiv tarzda noisqlik shaklida tarqaladi. Shunday qilib, spinar – bu gravitatsion siqilish energiyasini aylanish jarayoni yordamida elektromagnit nurlaniishi energiyasiga o‘tkazuvchi o‘lkan mashina. Nurlanish davomida xarakat momenti miqdori doimo kamayib boradi va natijada, o‘zgarmas o‘lchamlarga ega bo‘lgan pulsarlarga teskari ravishda, aylanishi yanada tezlashadi va uning nurlaniishi ham oshib boraveradi [3].

§4.2. Kvazarlarning umumiy hossalari va turlari

Hozirda bilvosita belgilarga asoslanib (asosan rangi bo‘yicha) kvazarlar nomzodlari soni yuzlab mingni tashkil etadi, o‘lchangan qizilga siljishlari bo‘yicha aniq qayd etilgan kvazarlar soni taxminan 100 000 yaqin. Hisob-kitoblarga ko‘ra, qizilga siljishlari diapazoni $z = 0.04$ (masalan, HZ 46) dan (bu atigi 200 Mpk masofaga mos keladi) to $z = 6 \div 7$ gacha (bu “zamonlar boshi”, ya’ni Katta portlashdan 1 mlrd. yilga yaqin o‘tgan kosmologik davrga mos keladi) cho‘ziladi

Kvazarlarning ko‘rinma yulduz kattaliklari $m_V = 19$ da maksimum bilan 13^m dan 24^m gacha diapazondan iborat; ularning mutlaq yulduz kattaliklari $M_V \approx -27$ da maksimum bilan -23^m dan (ifoda bo‘yicha) -32^m gacha intervalda yotadi. Taqqoslash uchun: bizning galaktikamizda va Andromeda tumanligida $M_V \approx -21$. Bu shuni bildiradiki, o‘rtacha kvazar optik diapazonda normal galaktikalardan yuzlab marta yorqinroq, kvazarlar- yorqinligi esa o‘n minglab galaktikalar kabi nur sochadi [4].



4-rasm. 65 000 kvazarning qizil siljishiga (Z) ko'ra taqsimlanishi. Vertikal o'q bo'yicha – $\Delta Z = 0,01$ intervaldagi kvazarlar soni berilgan. Grafik Sloan obzori (SDSS) ma'lumotlari bo'yicha tuzilgan.



5-rasm. Apach poynt observatoriyasidagi (Nyu Meksiko shtati) Sloan Fondining ixtisoslashtirilgan 2,5-metrli keng burchakli teleskopi. Uning yordamida 2000-2005 yillarda shimoliy koinotning Sloan ko'p rangli va spektral obzori o'tkazildi.

Kvazarlar yorqin yulduzlarga qaraganda, fazoda juda siyrak taqsimlangan: ayni paytda bizning yaqinimizda bitta yirik galaktika o'rtacha bir qancha kub megaparsekka to'g'ri keladi, bitta yorqin kvazar o'rtacha taxminan milliard kub megaparsekka to'g'ri keladi. To'g'ri, qizil siljishing ko'payishi bilan kvazarlarning fazoviy zichligi oshadi va $z \approx 2 - 3$ bo'lganda endi bir kvazarni million kub Mp topish mumkin (4 - rasm). Bunda, o'z-o'zidan ma'lumki, "parsek"ning fizik

ko‘lami Kointonning kengayishini hisoblash uchun o‘tmishni $(1 + z)$ sifatida kamaytiradigan hamroh fazoning hajmlari to‘g‘risida so‘z boradi. Bunday koordinatalarda kvazarlarning og‘ish zichligi bizning davrimizda dunyoning kosmologik kengayishi effekti bilan emas, balki ularning real “o‘chishi” bilan bog‘liq.

Ma‘lumki, kvazarlarning fazoviy zichligi maksimumga boy to‘plamlarning markaziy o‘lkalarida joylashgan massiv galaktikalarning shakllanish sur‘atlari maksimumi bilan bir paytda $z \approx 2 - 3$ bo‘lganda erishiladi. Shunday qilib, kvazarlar bo‘yicha juda katta masofalarda butun Koinotning (ya‘ni galaktikalar to‘plamlarining taqsimlanishini) uni galaktikalarning o‘zi bo‘yicha kuzatish ularning yorug‘ligi ytarlicha bo‘lmaganligi sababli qiyin hisoblangan yirik masshtabli tuzilishini o‘rganish mumkin. To‘g‘ri, bunda yirik masshtabli tuzilish manzarasini yaqin galaktikalar bo‘yicha aniqlaganchalik batafsil ola olmaymiz. Gap shundaki, kvazarlarning hayot vaqti yulduzlar evolyusiyasi uzoqligi bilan belgilanadigan yulduz sistemalarining mavjud bo‘lish vaqtidan minglab marta kam. Shu sababdan, kvazarlarga yirik masshtabli tuzilishning faqatgina alohida “tugunlari” ajratiladi. Xususan, ularda o‘nlab megaparsek ko‘lamdagi o‘lkalardagi o‘nlab kvazarlardan yirik guruhlar sifatida kuzatiladigan juda uzoq galaktikalarning yirik to‘plamlari topilgan [5].

Rasmlarda kvazarlar yulduzlar kabi ko‘rinishiga qaramay, bu tassurot aldamchi: nurlanish quvvati bo‘yicha ($10^{38} - 10^{41}$ Vt) ular tipik yulduzlarni $10^{12} - 10^{15}$ barobarga ortda qoldiradi. Rangi bilan ham: o‘z optik ranglariga (U – B, B – V) ko‘ra kvazarlar yosh qaynoq yulduzlarni eslatadi, biroq haqiqatda ularning uzluksiz spektri mutlaqo yulduz spektriga o‘xshamaydi. Kvazarining uzluksiz spektri juda keng chastotadagi (radio- dan gamma- gacha) diapazonda darajali ko‘rinishga ega $F_{\nu} \lambda V^{\alpha} \alpha$ ($\alpha \approx 0,7 \div 1,0$ bo‘lganda) hamda kvantlar tez elektronlarga tarqalib, qo‘shimcha energiya oladigan Komptonning teskari effekti hisobiga yuqori energiyali dum nurlanishida qo‘shimchasi bilan relyativ elektronlarning sinxrotron nurlanishini keltirib chiqaradi. Ushbu noisliq nurlanishga ikkita keng issiq do‘nglik qo‘yilgan: qizigan changdan $\nu = 3 \cdot 10^{12}$ Gs chastotada maksimum bilan hamda yadro atrofidagi disning qaynoq plazmasidan $\nu \geq 10^{16}$ Gs da ikkinchi maksimum bilan, Kvazarlar spektrida eng yaxshi o‘rganilgan uchastkalar keyingi yillarda ko‘plab kvazarlar rentgenda ham ko‘rinishiga qaramay, radio- va optik diapazonlar hisoblanadi.

Radioshovqin va radiotinch kvazarlar. Kvazarlar va radigalaktikalar radiodiapazonda yorug‘liligi bo‘yicha an’anaviy tarzda radioqattiq (baland) va radiotinch kvazarlarga ajratiladi. Ular orasidagi chegara butun ob’ektning yadroni o‘rab turgan katta ko‘lamdagi o‘lkalari bilan birga, 10^{25} Vt/Gs ga teng 5 GGs chastotada spektral nurlanish quvvati hisoblanadi:

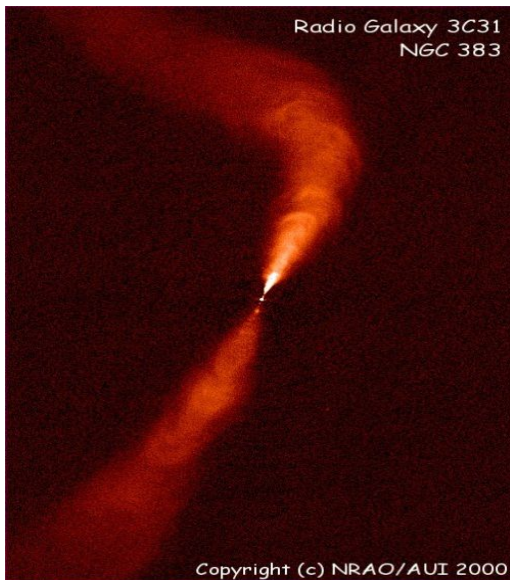
$$P_{50\text{Hz}}^{\text{umumiy}} < \frac{10^{25}Vt}{\text{Hz}} - \text{radiotinch kvazarkar}$$

$$P_{50\text{Hz}}^{\text{umumiy}} > \frac{10^{25}Vt}{\text{Hz}} - \text{radioshodqin kvazarkar}$$

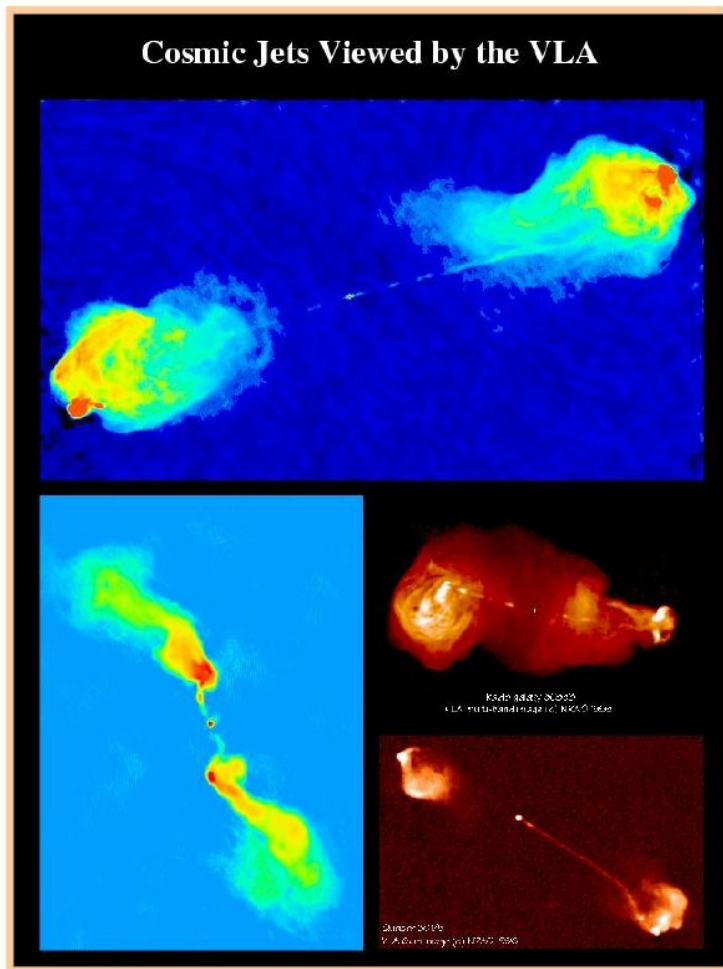
Ammo, keyingi yillarda oraliq tipdagi ob'ektlar ham aniqlana boshlandi. Yoy sekundida burchak ijzati bilan apertur sintez sistemasidan foydalanib, umumiy belgilarda radiogalaktika tasviriga o'xshash kvazarlarning radiotasvirlari olindi. Ularda quyidagilar ajratiladi: yassi spektrli yadro ($\alpha < 0,5$), tor purkamali, ko'pincha bir tomonlama tashlamalar – yanada tik spektrli ($\alpha \geq 0,7$) oqim (jet) hamda cho'zilgan tuzilmalar – yanada tik spektrli ($\alpha > 1$) “pufaklar” va “quloqlar”. G'oyat uzun bazali interferometrlar bilan olingan, bursak mikrosekundlari hissasigacha (milliarcsecond, 1 mas = 0, 0001") burchak ruxsatiga ega tasvirlar ko'rsatishicha, kvazarlarning markaziy manbalari haligacha hal qilinmagan zaif o'zgaruvchan yadro va tez-tez kuzatiladigan yuqori yorug'lik tezligi ($v_{\text{kuz}} > S$) bilan harakatlanadigan ulardan uchib chiqadigan alohida kompakt radiokomponentlardan iborat. Bu fizikaga zid emas: agar nur sochuvchi ob'ekt kuzatuvchiga subyorug'lik tezligi bilan ($v < S$) bilan kichik θ burchak ostida ko'rish nuriga yaqinlashsa, unda surat tekisligidagi kuzatiladigan tezlik istalgancha katta bo'lishi mumkin [5]:

$$V_{\text{nuriy}} = \frac{V \cdot \sin\theta}{1 - \frac{V}{c} \cos\theta}$$

Masalan, $v = 0,95 s$ va $\theta = 20^\circ$ da manbaning kuzatiladigan tezligi $v_{\text{kuz}} = 3,2 s$ ni tashkil etadi. Yadrodan uchib chiqadigan radiokomponentlar odatda vintli traektoriya bo'ylab harakatlanadi hamda bir necha yil mobaynida yorqinlikni yo'qotadi. Har bir yangi komponentning paydo bo'lishi optik chaqnashdan oldin radionurlanishning shovullagan ovozi bilan birga kechadi.



6 – rasm. Yadrodan uzoqlashib borgan sari yorqinligi kamayadigan ikkita cho‘zilgan komponentli 3S 31 radiogalaktika (FRI tipi)



7 – rasm. Tor oqimliva cho‘zilgan komponentli, tashqi chekkalarida qaynoq dog‘lar ko‘rinib turadigan Oqqush A galaktikasi.

Kuzatishlarning chastota diapazoni qanchalik yuqori bo‘lsa, kvazarlarning

egri shu'lalarida shunchalik qisqa vaqtinchalik o'zgarishlar bo'ladi. Agarda radiodiapazonda oylar va yillar davomida oqimning sezilarli o'zgarishlari sodir bo'lsa, unda optikada bu haftalar, rentgenda – kunlar va soatlar bo'lishi mumkin. Qizig'i shundaki, intensivlikning o'zgarishi oldin rentgenda, keyin optikada va faqat bir oydan so'ng – radioda vujudga keladi. Galaktikalar yadrolaridagi qisqa muddatli chaqnash o'zgaruvchanligining sabablari unchalik aniq emas. Tadqiqotchilarda bunga yagona fikr yo'q. O'z-o'zidan ma'lumki, spektrning turli diapazonlarida o'zgaruvchanlikning fizik sabablari turli xil bo'lishi mumkin. Faqat shunisi aniqki, o'zgaruvchanlik fenomenining o'zi yo akkretsiya diskda, yoki tashlamalarni (jetlar) hosil qiluvchi relyativistik qismlar oqimidagi, ehtimol ham unisida, ham bunisidagi beqarorlik jarayonlari bilan bog'liq. O'zgaruvchanlikka javobgar jarayonlarda, shuningdek zarb to'liqini, tashlamalarda nur sochuvchi qismlarning tezlashishi sodir bo'lishi mumkin bo'lgan frontlardamagnit maydonlarning qayta qo'shilishi sezilarli rol o'ynashi mumkin.

Ba'zan o'zgaruvchanlik yillar yoki o'n yillarda xarakterli vaqtlar bilan kvaziperiodik xarakter kasb etadi. Hozircha bu nima bilan bog'liq ekanligi unchalik aniq emas. Kuzatiladigan oqimning periodik o'zgarishlariga yadro atrfidagi gazli disk pretsessiyasi xos bo'lishi mumkin, bu, o'z navbatida, disk o'qi bo'ylab tezlashadigan relyativistik pretsessiyalarga olib keladi (rangli ilovadagi 7-rasmga qarang). Bunga boshqa sabab galaktika yadrosining ikki taraflamaliligi, ya'ni unda vaqti-vaqti bilan yaqinlashadigan va qo'shilishi kerak bo'lgan massiv qora tuynuklarning nisbatan chambarchas jufti mavjudligi sabab bo'lishi mumkin. Buni kuzatish gravitatsion to'liqlarni izlash bilan shug'ullanadigan astrofiziklarga ayniqsa qiziqarli bo'lardi.

Faol yadroli galaktikalar radiomorfologiyasi to'g'risidagi masalaga yana qaytamiz. 1974 yilda Fanarov va Rayli radioqattiq ob'ektlarni ularning cho'zilgan radiotuzilishlarining tashqi ko'rinishi bo'yicha oddiy bo'lishni taklif qilishdi. Ajratish uchun parametr sifatida ular radiomanbaning to'liq ko'lamiga galaktika yoki kvazarning faol yadrosidan ikki tomondagi yorqinroq o'lkalar orasidagi uning eng tashqi konturlari bo'yicha o'lchangan (galaktika markazidagi kompakt manba hisobga olinmagan) masofa nisbatini olishdi. Agar ushbu nisbat 0,5 dan kichik bo'lsa, ob'ektni I tipga, agarda 0,5 dan katta bo'lsa II tipga kiritishdi. Endi bu tiplarni FRI va FR II sifatida ifodalash qabul qilingan. mazkur ikki tip radiomanbalarining xarakterli ko'rinishi 6- va 7- rasmlarda ko'rsatilgan. Manbaning u yoki bu tipga tegishliligi uning radionurlanishi quvvatiga bog'liq ekan: past quvvatli ob'ektlar 3C 31 (NGC 383) radiogalaktikasidagi kabi FRI tipidagi tuzilishga, qudratli ob'ektlar esa Oqqush A radiogalaktikasidagidek FR II tipi tuzilishiga ega (Oqqush A.). Nurlanishning spektral quvvatining chegara qiymati 178 MGs chastotada taxminan $2 \cdot 10^{25}$ Vt/(Gs · sr.) ni tashkil qiladi.

Keyinroq ko'rsatildiki, ushbu ikki tip orasidagi radioquvvat chegarasining o'zi bosh galaktikaning (so'nggisi aftidan markaziy qora tuynuk massasi bilan bog'liq) optik yorug'lanishi oshishi bilan o'sadi. Radiokvazarlar yuqori radioyorug'lanishga ega bo'lar ekan ular, odatda, FR II tipdagi radiomorfologiyaga

ega. Kuzatishlar ko'rsatishicha, juda katta bo'lmagan qizil qo'zg'alishlarda ($z < 0,5$) FRII tipidagi manbalar galaktikaning boy to'plamlari bilan band o'lkalarda qochadi – u erda FRI tipidagi manbalar uchraydi, xolos. Galaktika faol yadrosining cho'zilgan radiotuzilishi ko'rinishi, birinchidan, radiodiapazonda yadroning o'zining quvvatiga, ikkinchidan esa galaktikalar to'plamida galaktikalararo muhit zichligiga bog'liq. Nisbatan yosh va quvvatli manbalar (birinchi navbatda, bu radioqattiq kvazarlar) hatto boy to'plamlarda FRII kabi ko'rinishi mumkin. Biroq yadroning faolligi kamayishi bilan to'plamdagi gaz cho'zilgan radiokomponentlarni tormozlay boshlaydi hamda hatto ularni FRIIdagi radiomanba tipiga aylantirib, to'plam markaziga, ya'ni bosh galaktikaga ko'tarishi mumkin. FRI tipidagi radiomanbalar FRII tipidagi manbalarga qaraganda yanada qari ob'ektlar bilan bog'liq ekan. FRI yadrolarida FRII yadrolariga nisbatan qora tuynuk massalari ko'proq ekanligi fakti bu haqda bilvosita guvohlik beradi. Bundan tashqari, uzoqdagi (yoshroq) to'plamlar o'zlarining markaziy o'lka (soha) larida kamroq zich gazga ega, shu sababdan u erda FRII kuzatilishi mumkin. Bizga yaqinroq (ya'ni qariroq) vaqti-vaqti bilan markazida gaz zichligi oshadigan to'plamlarda esa endi faqat FRI tipidagi manbalar kuzatiladi va ularda radiokvazarlar yo'q, chunki o'zlarining qisqa faollik shkalasi tufayli kvazarlar u yerda “yonib ketib”, tinchroq radiogalaktikalarga aylangan.

Kvazarlarning o'ziga xosligini muhokama qilib, ulardan atigi 10 % qudratli radiomanbalar hisoblanishini ta'kidlab o'tgandik. Ushbu radioqattiq kvazarlar o'z radioxususiyatlari bo'yicha agarda ularni yadrolaridan ajratilsa radiogalaktikalardan deyarli farq qilmaydi. Radiotasvirlar bo'yicha manba radiogalaktika yoki kvazar ekanligini amalda aytib bo'lmaydi. Shu boisdan, radiogalaktikalar – bu oddiy yadro faolligi susaygan eski kvazarlar ekanligi istisno emas, cho'zilgan radiokomponentlar esa yana uzoq asrlar yashaydi. Ularning sekin so'nishi shu bilan izohlanadiki, ular sinxrotron mexanizm hisobiga nur sochadi, cho'zilgan komponentlarda elektronlar energiyasi va magnit maydon kuchlanganligi yadrolardagiga qaraganda sezilarli ravishda kam, shu sababdan energiya yo'qotish sur'ati ham past.

Qizig'i shundaki, metrli to'lqinlar diapazonidagi radiotinch kvazarlarda “eski” cho'zilgan radiokomponentlar tez-tez kuzatiladi. Bu bunday kvazarlar ham qachonlardir radioqattiq kvazarlar bo'lgan degan fikrni keltirib chiqaradi. Bunday fikrga 1992 yil Feliks Mirabel tomonidan aniqlangan mikrokvazarlarni kuzatuvlar ham olib keladi. Ushbu qo'shaloq yulduz sistemalari (normal yulduz qora tuynuk yoki neytron yulduz) ularning qora tuynuklari (yoki neytron yulduzlar) massasi kvazarlarga qaraganda o'nlab million marta kam bo'lishiga qaramay, o'z faollikining tashqi namoyon bo'lishiga ko'ra miniatura kvazarlarni eslatadi. Tabiiyki, bu ularning quvvatini, shuningdek vaqt va fazo ko'lamlarini ham shunchalik marta kamaytiradi. Shu sababdan, mikrokvazarlardagi barcha jarayonlar bevosita ko'z oldida, o'n minutlarda sodir bo'ladi. Ularni kuzatib, mikrokvazarning radioxususiyati kompanon-yulduz bilan modda akkretsiyasi sur'atiga bog'liq.

Massiv qora tuynuklar bilan bog‘liq kvazarlarda kuchli radionurlanishdan zaifiga bu o‘tkinchi jarayonlar minglab yilni egallashi mumkin va, tabiiyki, o‘nlab yillar ko‘lamida kuzatib bo‘lmasligi mumkin. Shu boisdan, biz ushbu kvazarni yo radioqattiq, yoki radiotinch kvazar sifatida qabul qilamiz. Aslida esa bu shunchaki aynan bir ob‘ektning turli holatlari bo‘lib, unda radio fazasi noradio fazasiga nisbatan taxminan 10 marta qisqa bo‘ladi. Qizig‘i shundaki, mikrokvazarlarda ushbu fazalarning vaqtinchalik nisbati taxminan shunday. O‘tkinchi holat fazasi – radiodan noradioga va aksincha – mikrokvazarlarda kuchli o‘zgaruvchanlik bilan ifodalanadi. Bu haqiqiy kvazarlarda ham kuzatilishi mumkinligi istisno emas. Unda bu o‘tkinchi holatda kvazarlar tez o‘zgaruvchanlik xos bo‘lgan BL Latserta tipidagi ob‘ekt sifatida o‘zini namoyon etadi, deb taxmin qilish tabiiy [5].

Hozirgi zamon tasavvurlariga ko‘ra, galaktikalar yadrolari ($M_{QO'} = 10^6 \div 10^8 M_{\odot}$) faolligi yuqori massivli qora tuynukda moddalar akkretsiyasi bilan bog‘liq. Uning atrofida bunda akkretsiyon disk shakllanadi, unda yaqinda diskni nurlanish va tezkor parchalar ko‘rinishidagi oqim – jetlar tark etadigan qatlamlarning o‘zaro ishqalanishi ta’sirida tushayotgan modda gravitatsion energiyasining kinetik va issiqlik energiyasiga aylanishi sodir bo‘ladi. Aynan bunday holatyulduz massasining kompakt ob‘ekti bilan aloqador mikrokvazarlarda ham sodir bo‘ladi. To‘g‘ri, engil yulduz sistemalarida akkretsiyon disklar rentgen diapazonida nurlanadi, massiv kvazarlarda esa ular asosan ultrabinafshanur sochadi. Sababi shundaki, qora tuynuk massasi (M_{VN}) va uning akkretsiyon diskiga xos harorat (T_d) orasida oddiy fizik aloqa mavjud. Energiyaning asosiy qismi diskning qora tuynukdan taxminan $3 r_g$ masofada joylashgan (bu so‘nggi barqaror orbitaradiusi) ichki chekkasi yaqinida ajraladi. Ushbu sohaning kengligi ham r_g tartibida. Shu sabab, diskning qaynoq sohasi maydoni

$$\propto r_g^2 \propto M_{QO'}^2$$

Ushbu sohadan nurlanish quvvati Stefan – Bolsman qonuniga muvofiq $L \propto r_g^2 \cdot T_d^4 \propto M_{QO'}^2 \cdot T_d^4$. Odatda, bu nurlanish manbaning eddington yorug‘lanishining sezilarli hissasini tashkil qiladi: $L \sim L_{Edd} \propto M_{QO'}$. Bundan uning akkretsiyon diskiga xarakterli haroratning qora tuynuk massasiga bog‘liqligi kelib chiqadi: $T_d^4 \propto 1/M_{QO'}$. Ko‘rinib turganidek, massiv tuynuklarda disklar sovuqroq. Aniq nazariya quyidagi aloqani beradi:

$$T_d = 2 \cdot 10^7 K \left(\frac{M_{QO'}}{M_{\odot}} \right)^{-1/4}$$

Agarda diskka tushuvchi modda magnitlangan bo‘lsa, unda uning kinetik energiyasi bevositaelektromagnit energiyaga almashinadi. Gap shundaki, disk markaziga kelganda magnitlangan plazma tobora tezroq aylanadi, bunda disk magnitadipol nurlanish generatoriga aylanadi, galaktika yadrosini esa tez aylanuvchi neytron yulduz-radiopulsarga o‘xshash o‘ziga xos gigant pulsar sifatida

qarash mumkin. Agarda massiv qora tuynukning o'zi ham aylanishi kerak hamda o'z aylanuvchi gravitatsion maydoni qo'shimcha magnitlangan o'rab turgan palazmani jalb etadigan bo'lsa vaziyat tobora murakkablashadi. Bunda B magnitli dipol maydon va Ω aylanish tezligi bilan R radiusli sharikdan magnitodipol nurlanishga o'xshash Blendford – Znayek magnitodinamik nurlanish vujudga keladi:

$$L \approx \frac{B^2 \Omega^4 R^6}{c^3} = \frac{B^2 (\Omega \cdot P)^4 R^2}{c^3}$$

Gorizont yaqinida qora tuynuk hodisasi $R \approx r_g \equiv 2GM_{BH}/c^2$, harakat tezligi esa yorug'lik tezligiga yaqin. Shu sababdan, ΩR chiziqli aylanish tezligi o'rniga yorug'lik tezligini qo'yish mumkin. Natijada $L \propto B^2 \cdot M_{QO}^2$ ni ko'rishimiz mumkin. Magnit maydon kuchlanishi va uning akkretsiyon diskda taqsimlanishi yaxshi ma'lum emas. Odatda, $\sim 10^{13}$ m ko'lamidagi o'rtachalashtirilgan maydon $\sim 10^3 - 10^4$ Gs ga teng deb hisoblashadi. Shunisi muhimki, magnitodipol yorug'lanish qora tuynuk massasi kvadrati, uning kritik (eddington) yorug'lanishi esa bor-yo'g'i massaning birinchi darajasi kabi o'sadi. Shu boisdan, qora tuynuk massasining o'sishi bilan uni o'rab turgan moddada nurlanish bosimining roli oshadi (qiziq, bunday bog'liqlik normal yulduzlar uchun ham xarakterlidir).

Massiv qora tuynuk atroflaridan energiya ajralib chiqishi nafaqat tuynuk massasi bilan, balki shuningdek diskning effektiv egiluvchanligi (α – N.I.Shakura va R.A.Syunyaev bo'yicha egiluvchanlik parametri) hamda ($\dot{m} = \dot{M}/\dot{M}_{QO}$) Eddington birliklarida ifodalanuvchi akkretsiya sur'ati bilan belgilanadigan akkretsiyon disk dinamikasi bilan ham bog'liq. Akkretsiyaning yuqori sur'atida $\dot{m} \geq \alpha^2$ modda disk radiusi bo'ylab sekin harakatlanadi hamda shu sababdan uni mustahkam to'ldiradi. Disk yulduz fotosferasiga o'xshash – uning nurlanishi issiqlik xarakteriga ega. Yuqori egiluvchanlikda $\alpha^2 \geq \dot{m}$ modda disk markaziga tez harakatlanadi, shu boisdan uning zichligi kam va kulon o'zaro ta'siri ajraladigan issiqlik energiyasini ionlardan elektronlarga uzatishga ulgurmaydi. Natijada elektronlar ionlardan sezilarli sovuqroq bo'ladi va nurlanishning barcha mexanizmlari elektronlar harakati bilan bog'liqligi sababli disk yomon sovitiladi. Bunday diskda ajraladigan mexanik energiya nurlanishga etarlicha effektiv bo'lmagan tarzda qayta ishlanadi hamda ionlar bilan birga disk bo'ylab uning markaziga ko'chadi. Akkretsiyaning bunday rejimi adveksiya deyiladi. Bunda diskning markaziy sohasi qaynoq tojni hosil qilib va tez oqib chiquvchi shamolni vujudga kelishi uchun sharoit yaratib, kuchli isiydi. Magnitlangan shamolda yuqori (relyativistik) energiyagacha zaryadlangan zarralarning tezlashishi sodir bo'lishi mumkin; bunday zarralar sinxrotron nurlanishni keltirib chiqarishga qodir. Bunda ob'ekt radioqattiqqa aylanadi.

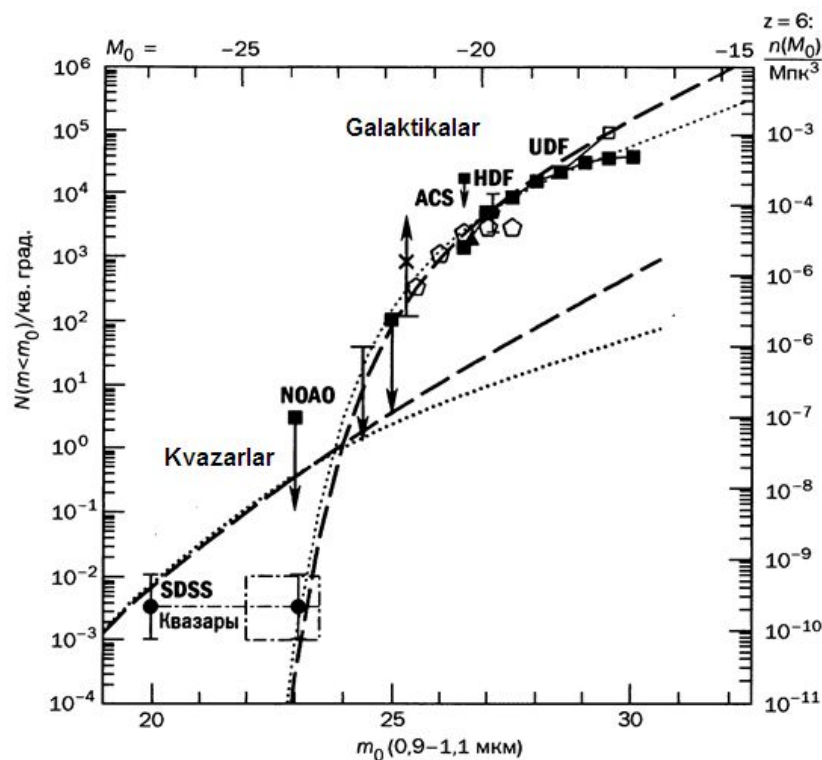
Shunday qilib, qora tuynukda moddaning akkretsiya sur'ati akkretsiya diskining yadro atrofi sohasidan faollik tipini, demak galaktikaning faol yadro tipini o'zgartirib, nurlanish jarayonlari bilan boshqarilishi mumkin. Bunday xulosa akkretsiyalangan yuqori massivli qora tuynuk kabi faol yadro to'g'risidagi

tasavvurlar doirasida galaktikalarning faol yadrolarining “unifikatsiyalangan (bir xillashtirilgan) sxemasi”ga sezilarli tuzatishlar kiritadi. Bu sxemaning o‘zi esa hozirda bunday ko‘rinadi: tashlamalar bilan faol yadro $\theta > 75^\circ$ burchak ostida ko‘rish nurida radiogalaktika bo‘lib, $\theta > 45^\circ$ burchak ostida kvazar bo‘lib, $\theta > 30^\circ$ burchak ostida esa latsertid (ya’ni BL Lac tipidagi ob’ekt) bo‘lib ko‘rinadi. Haqiqatan, faol yadro xususiyatlarining bir qismi orientatsiyaga bog‘liq bo‘lishi mumkin, chunki akkretsiyon disk atrofida faol yadro nurlanishini ushlab qolishga va uni changga aylantirib, infraqizil diapazonga o‘zgartirishga qodir ancha qalinroq gaz-changli tor bo‘lishi mumkin. Ushbu belgiga ko‘ra, barcha faol yadrolar ikki tipga ajratiladi: I tipdagi ob’ektlar kuzatuvchiga keng yon tomoni bilan, II tipdagilari esa qirrasini bilan ko‘rinadi. Kepler orbitasi bo‘yicha aylanuvchi diskning gaz bulutlarida shakllanadigan nurlanishning ruxsat etilgan chiziqlari kengligiga ham bog‘liq bo‘lishi kerak [5].

Bunday model asosida galaktikalar markazlarida, shu jumladan kvazarlarda qora tuynuklar massalarini baholash amalga oshiriladi. Ushbu masalaga batafsil to‘xtalib o‘tamiz.

Galaktikalarning, shu jumladan kvazarlarning faol yadrolariga xos xususiyatlar ularning spektrlarida kuchli va keng ruxsat etilgan nurlanish chiziqlarining mavjudligi hisoblanib, unda lahzada uzluksiz spektrdagi oqimdan 10 foizgacha joylashgan. Sezishimizcha, aynan nurlanish uzluksiz spektrda zich gaz bulutlari yadrolari atrofida atomlarning ionlanishi va qo‘zg‘alishini qo‘llab-quvvatlaydi, bu energiyaning bir qismi esa chiziqlarda emissiya ko‘rinishidagi yadroni tark etadi. Shu bilan birga, kuzatishlar ko‘rsatishicha, keng chiziqlar intensivligi va profillaridagi o‘zgarishlar yadroning uzluksiz nurlanish intensivligidagi o‘zgarishlardan keyin o‘nlab kunlar ushlanishlar bilan sodir bo‘ladi. Ushbu ushlanishlar bo‘yicha keng chiziqlar ($10^{15} \div 10^{16}$ sm) shakllanadigan sohalargacha bo‘lgan masofani baholash mumkin. Chiziqlar qanotlarining kengligi sekundiga o‘n minglab kilometr ga etadi, bu faol yadro yaqinida, < 1 pk ko‘lamdagi sohada aftidan ikkita diametrial qarama-qarshi yotgan konuslar ko‘rinishidagi kollimirlangan qudratli gaz oqimi mavjudligidan dalolat beradi.

Yanada cho‘zilgan sohalarda (~ 100 pk) intensivligi yadro radionurlanishining intensivligi bilan yaxshi bog‘lanadigan, sekundiga ming kilometr kenglikdagi torroq ta‘qiqlangan spektral chiziqlar shakllanadi. Buning ustiga ularning paydo bo‘lish sohasi ko‘pincha radioizofotlar bilan mos keladi. Kvazarlar orasida spektrlarida nurlanish chiziqlari kuzatilmaydigan ob’ektlar bor; aynan ularni BL Lacertae prototipi sharafiga *latsertidlar* deb ataladi. Barchasidan kelib chiqib, ularning spektrlarida chiziqlar bo‘lmaydi, bu latsertidlarda gaz kamligi yoki qo‘zg‘atuvchi nurlanish jadalligining pastligi sababli emas, balki shunchaki chiziqlar kuchli kontinumlar bilan “ko‘milgan”ligi sabablidir. Bu latsertiddagi shu’la minimumida tez-tez spektrdagi chiziqlar paydo bo‘lishi bilan tasdiqlanadi, boshqa tomondan esa kvazarlarda minimumda chiziqlar shu’lasi yo‘qoladi.



8-rasm. Qizilga siljishlari $z = 5.5 \div 6.5$ bo'lgan kvazar va galaktikalarning integrallashgan ravshanlik funksiyasi. Kuzatuvlar erdan (SDSS, NOAO) hamda kosmosdagi (ACS, HDF, UDF) teleskoplardan olib borilgan. Chiziqlar bilan $\Omega_m = 0.27$ va $\Omega_\Lambda = 0.73$ holdagi modellar ko'rsatilgan. Bu erda m_0 – yaqin IK-diapazondagi ko'rinma yulduz kattaligi, M_0 – $z = 6$ dagi absolyut yulduz kattaligi [6].

Latsertidda radiotashlama o'qi kvazarlarga nisbatan o'rtacha bizning ko'rish nurimizga kam burchaklar ostida yo'nalgan. Aynan yadro atrofidagi diskning ko'rish nuriga orientatsiyasini hisobga olishda bizga ma'lum "unifikatsiyalangan sxema" asoslanilgan. Biroq mazkur sxema galaktikalarning faol yadrolari xususiyatlaridagi ehtimoliy evolyusion o'zgarishlarni mutlaqo hisobga olmaydi. Masalan, vaqti-vaqti bilan kvazar radiogalaktikaga, kvazyulduz galaktika esa Seyfert galaktikasiga aylanishi istisnosiz. Bilvosita bu imkoniyat ularning bir-biriga yorug'lanish funksiyalarining ravon o'tishi bilan tasdiqlanadi. Yorug'lanish funksiyasi – bu ob'ektlar fazoviy zichligining yorug'lanishning birlik intervalidagi yorug'lanishning o'ziga bog'liqligi ekanligini eslatib o'tamiz. Ko'rsatilgan tipdagi faol galaktikalar yorug'lanish funksiyalari optikadagi kabi, radiodiapazonda ham bir-biriga tekis o'tadi.

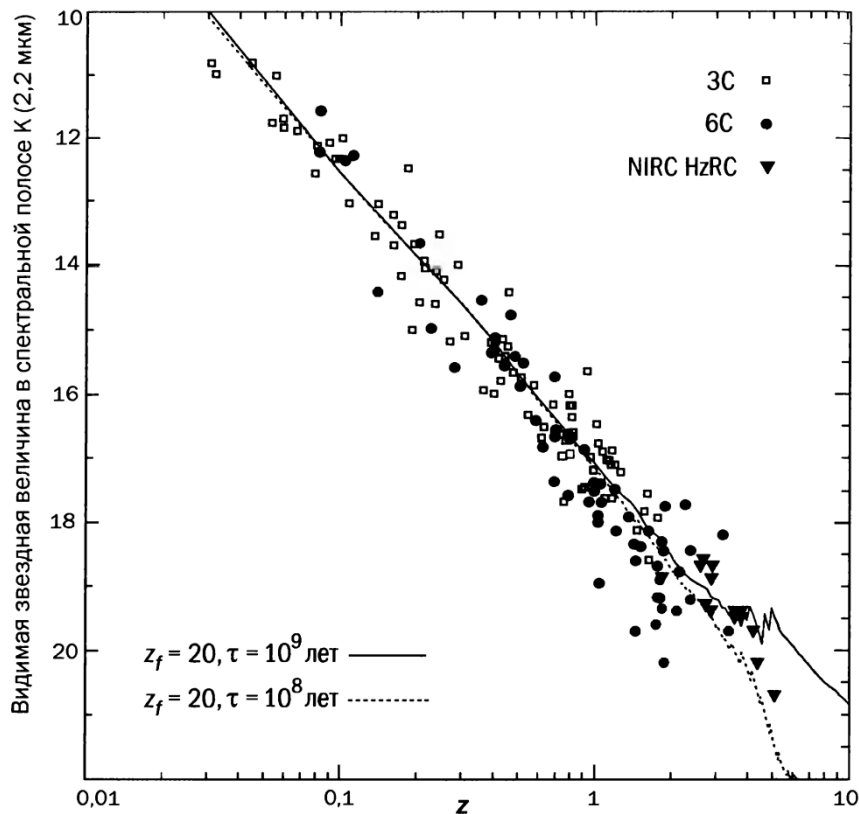
§4.3. Kvazarlarni Koinotni tadqiqot etishdagi o'rni

Kvazarlarni juda katta masofalarda kuzatish imkonini beradigan yorug'ligi tufayli astronomlarda kvazarlarni "standart sham" yoki "standart chizg'ich" sifatida foydalanib, va nihoyat, Koinot modeli parametrlari – uning o'rtacha

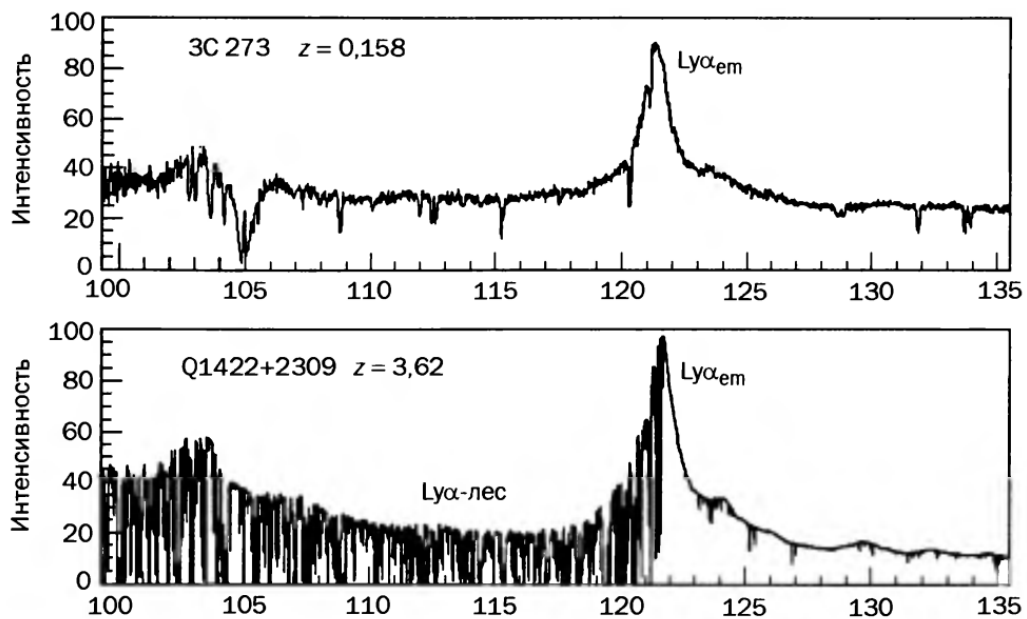
zichligi, Xabbl konstantasi va boshqalarni baholashga umid paydo bo'ldi. Biroq bu umid amalga oshmadi. Kvazarlar o'zlarining nur sochishi kabi o'zlarining ko'lami, masalan radiodiapazondagi ko'lami bo'yicha ham juda xilma-xil bo'lib chiqdi. Shu sababdan, ulardan kosmologik standart sifatida foydalanish amalda mumkin emas. Masalan, 8 – rasmda kvazarlar uchun $M(z)$ bog'liqlik ko'rsatilgan bo'lib, uni nuqtalarning kuchli tarqoqligi sababli Xabbl bog'liqligi deb atash qiyin. Galaktikalar to'plamlarining eng yorqin a'zolari (odatda bu ulkan elliptik radiogalaktikalar) uchun analogik diagramma (9 – rasm) mutlaqo boshqacha ko'rinish kasb etadi. Unda tezlikning (z) masofaga (M) kosmologik bog'liqligi yaxshi ko'rinadi [5].

Ko'rib turganimizdek, standart sham roliga kvazarlar yaqqol yaramaydi. Biroq ularni boshqa maqsadlar uchun almashtirib bo'lmaydi. Birinchidan, ularning juda katta z da aniqlanishningo'zi Koinotda ob'ektlarning erta shakllanganligidan guvohlik beradi, kvazarlar spektrlarida og'ir elementlar chiziqlarining borligi esa muhitni metallar bilan boyitgan yulduzlarning yanada ertaroq paydo bo'lganligidan so'zlaydi. Ikkinchidan, kvazarlarni ulardan bizgacha ko'rish nurida yotuvchi yarim shaffof ob'ektlar – galaktikalar, galaktikalararo gaz bulutlarini yoritadigan “Koinot chuplari” sifatida qo'llash juda qulay bo'lib chiqdi.

Kvazarlar spektrlaridagi yutilish chiziqlari. 1965 yilda $z \approx 2$ ga ega 3S 9 kvazari aniqlangandan hamda uning spektrida katta qizil siljish tufayli yerdan kuzatiladigan optik diapazonga surilganneytral vodorodning (121,6 nm) $Ly\alpha$ ultrabinafsha chiziqlarga o'xshatilishidan keyin galaktikalararo muhitda neytral vodorod zichligini baholash uchun imkoniyat paydo bo'ldi. Bundan darhol J.Gann va B.peterson foydalanishga urinishdi, biroq ularni umidsizlik kutardi. Ular faqat sovuq galaktikalararo gazning o'rtacha zichligi yuqori chegarasini aniqlay olishdi, $n(\text{HI}) < 10^{-11} \text{ sm}^{-3}$, chunki $Ly\alpha$ nurlanish chizig'ining havorang qanoti yorug'ligining sezilarli berilishi va ularning ortidagi kontinum sababli ular aniqlanmagan. Faqat 30 yil o'tib, $sz_{em} > 5$ kvazari ochilganda ularning spektrlaridagi Gann-peterson effekti qayd etildi. Bu shundan dalolat beradiki, Metagalaktika evolyusiyasining erta bosqichlarida rekombinatsiya ($z \approx 1400$) davridan keyin ikkilamchi ionizatsiya davri bo'lgan hamda undan keyingi qorong'u salqinlashgan gaz davrida neytral vodorod yana $z \approx 3 \div 4$ da kuchli ionlashgan bo'lgan. Shu sbabdan, $z < 3$ bo'lganda kvazarlarning nurlanishi neytral vodorod chiziqlarida deyarli yutilmagan, chunki galaktikalararo fazoda u kam qolgan. Faqat $z < 3$ bo'lganda (ya'ni ikkilamchi ionizatsiya davrigacha) neytral vodorodning optik qalinligi $\lambda < 21,6\text{nm}(1+z)$ kuzatiladigan to'lqin uzunligiga ega $Ly\alpha$ chizig'ining havorang qanoti kvantlari yutilishi uchun yetarli.



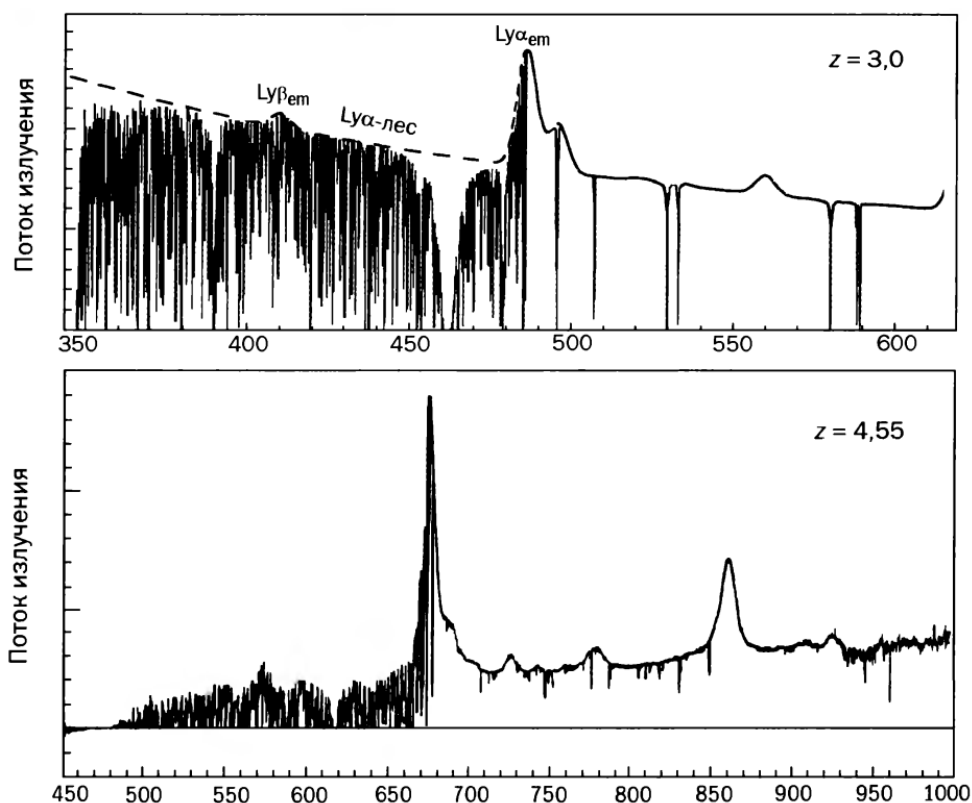
9–rasm. Odatda to‘dalardagi eng yorqin galaktikalarni namoyon etuvchi 3S, 6S va NIRS katalogidagi radiogalaktikalar uchun Xabbl diagrammasi. Chiziqlar bilan galaktikalar yorqinligi evolyusiyasining ikkita modeli ko‘rsatilgan - $z_f=20$ da davomiyligi 10^9 yoki 10^8 yil bilan yulduz tug‘ilish jarayoni sodir bo‘ladi. Modellashtirishda $H_0=65\text{km}/(\text{cMpk})$, $\Omega_0=0,3$; $\Lambda_0=0$ qabul qilingan.



10–rasm. Nisbatan yaqin ($z=0,158$) va uzoq ($z=3,62$) kvazarlarning tipik spektrlari. Uzoq kvazar spektrida $\text{Ly}\alpha$ yutilishining alohida chiziqlari “qalin o‘rmon”ga

aylanadi.

Eng yaqin kvazar spektrida ($z=0,158$) kvazarning o‘zida $Ly\alpha$ nurlanish liniyalaridan chapdan tor yutilish chiziqlarini beruvchi alohida neytral vodorod bulutlari o‘zini namoyon qiladi. Eng uzoq kvazarlar ($z = 3.0$ va $z = 3.62$) spektrlarida yutilish chiziqlarining “qalin o‘rmon”i kuzatiladi. Ushbu kvazarlardan eng uzoqlari ($z = 4.55$) spektrlarida esa chiziqlarning alohida “o‘pirilishlari” yaxlit “vodiy”ga birlashib ketgan – kvazardan bizgacha yo‘l bo‘ylab neytral vodorodda kuchli yutilish sohasi paydo bo‘lgan; bu aynan Gann va Peterson izlagan effektning o‘zinasidir. Shuningdek, 11-rasmda $z = 3.0$ bo‘lgan kvazar spektrida $Ly\alpha$ va $Ly\beta$ yutilishning keng chiziqlariga e‘tibor qarating: ular kvazarning o‘z yadrosidan oqib chiqadigan gaz oqimida vujudga kelgan.



11 – rasm. $Ly\alpha$ -o‘rmon yutilish chiziqlari ustun bo‘lgan $z=3,0$ va $z=4,55$ li kvazarlarning tipik spektrlari. Eng uzoq kvazarda ($z=4,55$) bu “o‘rmon” yaxlit o‘pirilishga aylangan (Gann-Peterson effekti).

Qizil ko‘chishlar bo‘yicha $Ly\alpha$ -o‘rmon chiziqlar taqsimlanishida 60 va 127 masshtablarda katta bir xillik bo‘lmasa-da, baribir sezilarli bo‘lishiga qaramay, zning qandaydir qiymatlarida yaqqol zichlikni namoyon qilmaydi. Shuning uchun qizilga siljish birlik intervalida chiziqlar soni $(N)Z_{abs} \approx 1,5$ bo‘lganda keskin

sinishga uchraydi:

$$\frac{dN}{dz} = \begin{cases} z < 1.5 \text{ da} & (1+z)^{0.75} \\ z > 1.5 \text{ da} & (1+z)^{2.2} \end{cases}$$

Qizig'i shundaki, kvazarlar yaqinida Ly α yutilish chiziqlari yo'qoladi; aftidan, vodorod u yerda kvazarning o'zidagi kuchli ultrabinafsha nurlanishdan ionlashadi. Mavjud tasavvurlarga ko'ra, kvazarlar spektrlarida Ly α -o'rmon chiziqlari paydo bo'lishiga javobgar neytral vodorod bulutlari bir necha megaparsek diametrli va ~100kpk qalinlikdagi zichlashgan tuzilmalar ("quymoqlar") hisoblanadi. Chiziqlar chuqurligi bo'yicha fikr yuritib, bulutlarning yuzasi zichligi 10^{13} dan 10^{21}sm^{-2} ni tashkil qiladi. Ularning massalari $10^9 \div 10^{10}M_{\odot}$ deb baholanadi. Ehtimol, bu bulutlar hali muvozanatga kelmagandir va kichik o'q bo'ylab siqilishda davom etmoqda hamda boshqa yo'nalishlarda kengaymoqda.

Ly α -o'rmon tor chiziqlaridan tashqari, yorqin kvazarlar spektrlarida 10^{23}sm^{-2} gacha katta yuza zichlikli xususiyatlar ham kuzatiladi, ular bo'ylab chiziqlar kengayadi. Bu yoki bizga yoni bilan yo'nalgan neytral vodoroddan "quymoqlar", yoki massiv galaktikalar tojidir. Keyingisida qator metallar: MgII, CIV, CiIV, CaII, NaI va boshqalar ionlari yutilish chiziqlari shakllanadi. Ly α -o'rmon chiziqlaridan farqli metallar chiziqlari galaktikalarning o'zlari zichlashgani kabi fazoda zichlashgan, shuning uchun ular to'planish yoki yirik to'planish to'plamlar guruhiga kiradi. Muhimi metallarning yutish chiziqlari galaktikalar diski bo'ylab nur o'tishida vujudga keladi. Taxminan 2500 sistemada yig'ilgan deyarli 800 kvazar ($z < 4$) spektrlarida taxminan 21 000 ta og'ir metallar ionlarining yutish chiziqlari topilgan. Kvazarning uchib ketuvchi o'z qobig'ida shakllanadigan yutish chiziqlarini istisno qilish uchun $\Delta z < 10^{-2}$ da z_{em} dan z_{abs} bo'yicha joylashgan chiziqlar hisobga olinmaydi, bu 3000km/s tezlik farqiga mos keladi.

Uzoq galaktikalar tasqimlanishidagi yirik masshtabli tuzilishni bevosita kuzatish yo'li bilan aniqlash qiyin, biroq kvazarlar spektrlaridagi metallarning osmonga va qizilga siljish yo'nalishi bo'yicha yutish chiziqlari taqsimlanishini o'rganib, buni amalga oshirish mumkin. Bunday usul bilan koordinatalar sistemasidadeyarli 100/h (bu yerda h – 100 km/(sMpk) birliklardagi Xabbl konstantasi) fazoviy qadamga ega absorpsion tizim taqsimlanishidagi kvazidavriylik aniqlangan. 100Mpk dagi masshtab juda yirik to'plamlar orasidagi o'rtacha masofaga aynan mos keladi va, demak, Metagalaktikaning yirik masshtabli tuzilishi bilan bog'langan. kvazidavriylik kelganda aytish kerakki, kvazarlarning qizilga siljishlar bo'yicha taqsimlanishidagi qandaydir davriylikni topishga urinishlar muvaffaqiyatli bo'lmaydi. Kvazarlar juda kamyob va shu sababdan yuqori (yirik) to'plamlar tuzilishini "chizib" berolmaydi.

Kvazarlarni gravitatsion linzalanishi. Nurlanish manbai fonida massiv ob'ekt joylashganda u undan o'tuvchi nurga gravitatsion ta'sir ko'rsatadi, ya'ni uning orqasida yotgan manba yorug'ligi va ko'rinishini buzib ko'rsatuvchi "gravitatsion

linza” rovida chiqadi. Nurning gravitatsion og‘ishining prinsipial imkoniyatlari Eynshteyn tomonidan aytilgan hamda 1919 yilgi to‘liq quyosh tutilishi vaqtida Quyosh diski yaqinida yulduzlar tasvirining siljishi bo‘yicha kuzatishlar bilan isbotlangan. Agar nur M massa jisimidan r minimal masofada o‘tasa, unda uning tinch yo‘nalishdan og‘ish burchagi quyidagini tashkil etadi:

$$\theta = \frac{4GM}{rc^2} (\text{radian}) = 1.75'' \frac{M}{M_{\odot}} \frac{R_{\odot}}{r}.$$

“Linza” terminini birinchi bo‘lib, gravitatsion nurning elektromagnit og‘ishi to‘g‘risida gapirib, 1919 yilda “gravitatsion maydon linza kabi harakat (ta’sir) qiladi, biroq fokus masofasiga ega emas” deb qayd etgan ingliz fizigi Oliver Loj (1851 – 1940) qo‘llagan. U haq bo‘lib chiqdi: gravitatsiyaning ta’siri manbadan (masofaning teskari proporsional kvadrati) masofa bilan tez kuchsizlanishi sababli gravitatsion linzaning fokuslovchi ta’siri uning shishadagi analogi ta’siridan farq qiladi. Agar oddiy linza unga tushadigan butun nurni fokusning bir nuqtasiga to‘plasa, unda gravitatsion linza faqat nurni optik o‘qqa og‘diradi, biroq ularni yagona fokusda yig‘a olmaydi: gravitatsiya manбайдan nurlar qanchalik uzoq o‘tasa, bu bilan undan bu nurlar katta masofada kesib o‘tadi. Shu sababdan, eng oddiy gravitatsion linzaning (nuqtali massa ko‘rinishidagi) fokuslovchi effekti g‘oyat kuchsiz va nur manbai tasviri yorqinligini juda kuchli kattalashtira olmaydi. Buning ustiga, gravitatsiyadan nurning og‘ishi haqiqatan kuzatilganiga ishonch hosil qilgan astronomlar va fiziklar uzoq yulduzlarni ularning bizga eng yaqin “yuldoshlarini” gravitatsion linzalash imkoniyatlarini muhokama qila boshlashdi. Hozirda ushbu effekt mikrolinzalash (mikrolinzirovkalash) deyiladi.



12 – rasm. Nuqtali gravitatsion linza effekti manbaning ikki tasvirini yaratadi, chunki linzaning o‘zi, manba va uning ikki tasviri surat tekisligida har doim bir to‘g‘ri chiziqda yotadi. Agar linza manba bilan bir ko‘rish nurida bo‘lsa, uning tasviri yaxlit halqaga birlashadi.

Ushbu effektning birinchi tavsifini peterburglik fizika professori Orest Daniilovich Xvalson (1924 y.) bergan. 1936 yilda leningradlik astronom Gavriil Adrianovich Tixov va Eynshteynning o‘zi dastlabki hisob-kitoblarni amalga

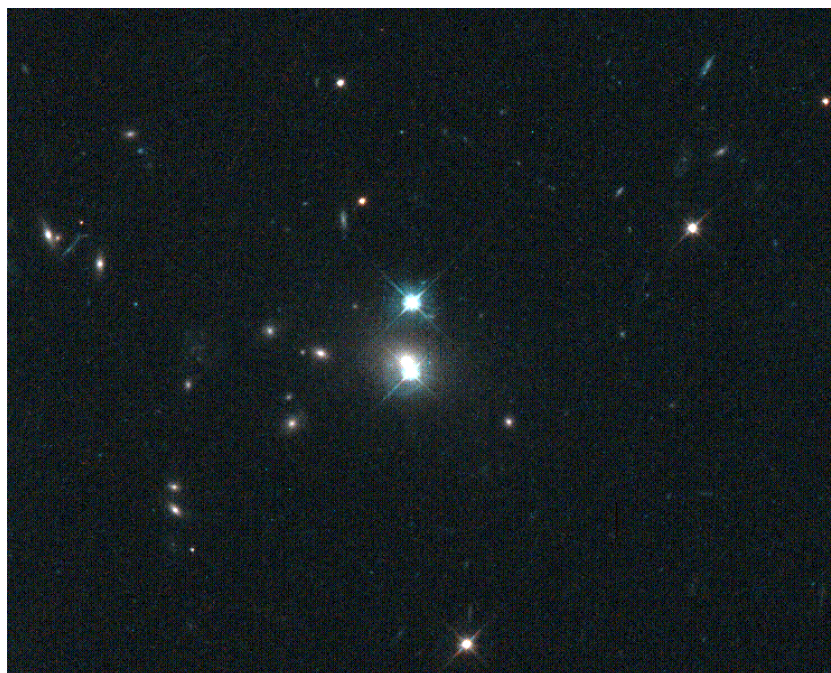
o'shirishgan. Ular ikkala yulduz va kuzatuvchi bir to'g'ri chiziqda joylashgan holatda, uzoq yulduz tasviri halqa shaklini oladi, degan xulosaga kelishgan. Geometrik optika doirasida ko'rsatilishicha, umuman linzalangan ob'ekt yorug'ligini sezilarli ($>1,34$) kuchaytirish mumkin, biroq agar ko'rish nuri uzoq yulduzga linza bo'lib xizmat qiladigan yulduzdan bir qancha masofa doirasida o'tgan holdagina bunga erishish mumkin. Ushbu masofa *Eynshteyn – Xvolson radiusi* deb ataladi [7]:

$$R_{Eynsh} = \sqrt{\frac{4GM D_L D_{LS}}{c^2 D_S}}$$

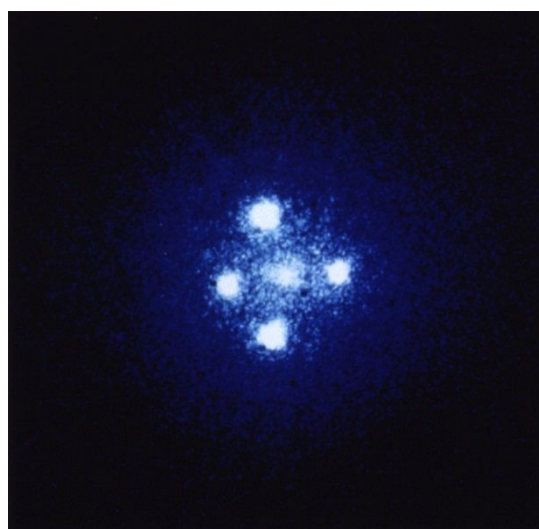
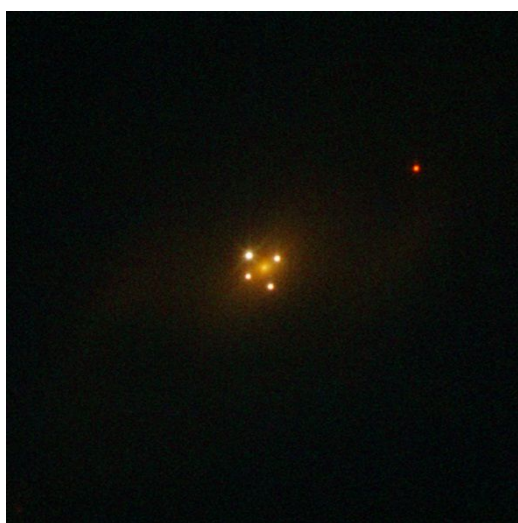
Bu erda M – linzaning massasi, D_L –kuzatuvchidan linzagacha masofa, D_S – kuzatuvchidan manbagacha masofa, D_{LS} – linzadan manbagacha masofa. Manba yorqinligining kuchayishi bunda quyigani tashkil etadi:

$$A = \frac{2 + x^2}{x\sqrt{4 + x^2}}$$

Bu erda x –kuzatuvchi ko'rish nuridan manbaga R_{EH} birlikdagi linza masofasi. Rasmiy jihatdan, nuqtali ob'ektlar uchun x kamayganda shu'laning kuchayishi cheksizlikka intiladi, biroq oxirgi o'lchamdagi ob'ektlar uchun u g'oyat ahamiyatli bo'lishi mumkinligiga qaramay har doim oxirgidir. Shungay qaramay, Eynshteyn, Eddington va boshqa astrofiziklar tomonidan qilingan oddiy baholashlar shuni ko'rsatdiki, yulduzlarni yulduzlarda linzalash ehtimoli juda kam; effektini sezish uchun millionlab yulduzlar yorug'ligi o'zgarishini uzoq vaqt kuzatish kerak, buning zamonaviy avtomatlashgan teleskoplar paydo bo'lguncha imkoni yo'q edi. 1936 yil "Science" jurnalida chop etilgan "Gravitatsion maydonda nur og'ishida yulduzning linzaga o'xshash ta'siri" nomli maqolasida Eynshteyn shunday yozadi: "Albatta, bu hodisani to'g'ridan-to'g'ri kuzatishga umid qilmaslik kerak". Biroq, 1937 yildayoq Frits Sikki (1898 – 1974) nazariy jihatdan shunday xulosaga keladi, nurning gravitatsion fokusirovkasi effektini galaktika linza bo'lgan holatda kuzatish mumkin, chunki uning gravitatsion maydoni juda katta, o'rtacha yuza (sirti) yorug'ligi etarlicha kam va shu sababdan kuzatishga kuchli halal bermasligi kerak. Svikki galaktikalarni galaktikalarda linzalash ehtimoli yulduzlarni yulduzlardagiga qaraganda ancha yo'qori bo'lishi mumkinligiga e'tibor qaratdi hamda nima sababdan bu effekt kuzatilmaganiga hayron qoldi.



13 – rasm. Tasvirida birinchi marta gravitatsion linza effekti aniqlangan QO957+561 A,B kvazari. Kvazar quyi tasviri yaqinida galaktika – linza ko‘rinib turibdi.



14 – rasm. Eynshteyn Xochi – nurning fon manbai sifatida uzoq QSO 2237+0305 ($z_{em}=1,695$) kvazari chiqadigan, linza bo‘lib eng yaqin, biroq suratlarda defrli sezilmaydigan Sab tipidagi ($z=0,039$) galaktika xizmat qiladigan gravitatsion linza effekti. Uning markaziy qismini chapdagi suratda farqlash mumkin. Uning markazidagi Xoch o‘lchami 1,6" x 1,6" bo‘lganda, galaktikaning ko‘rinadigan o‘lchami 52" x 20". O‘ngdagi rasm: “Xabbl” (NASA).

1979 yilda ingliz astronomi Dennis Volsh QSO 0957+561 kvazarining tasviri $\Delta\theta=6''$ burchak masofasi bilan ajralgan hamda o‘xshash xususiyatlar bir xil

qizilgasiljish ($z_{em}=1,41$), deyarli bir xil yorug'lik va o'xshash spektrlarga ega ikkita komponent – A va V dan iboratligini aniqladi. Darhol ushbu fenomenning ikkita ehtimoliy izohi taklif etildi: yoki bu bitta kvazarning gravlinzali tasviri, yoki kvazarlarning haqiqiy juftligi, ya'ni ikki qo'shni galaktikalarning faol yadrolari. Agarda bu gravlinza effekti bo'lsa, unda galaktika – linzani izlash kerak, agarda bu haqiqiy juftlik bo'lsa, unda ular orasida o'zaro ta'sir izlari kuzatilishi kerak. Bundan tashqari, nur bizga turli yo'llar bilan keladigan gravlinzali tasvirlarda agar albatta linzalanadigan kvazarlarning o'zi o'zgarsa turli tasvirlar shu'lasini o'zgarishlarida vaqt bo'yicha siljishlar kuzatilishi kerak [8].

Tez orada galaktika – linza aniqlandi. U V tasvir yaqinida joylashgan va $z=0,355$ ga ega. Linzaning A va V tasvirlarga nisbatan bunday asimmetrik joylashishida tasvirlarning ko'rinadigan shu'lasini deyarli bir xilligi g'alati bo'ldi. Ushbu qarama-qarshilikni bartaraf etish uchun gravlinzali ta'sirni nafaqat uzoq kvazarga ko'rish nuriga tushgan galaktika, balki tarkibiga mazkur galaktika kiradigan galaktikalarning massiv to'plamlari ham ko'rsatadi, degan taxminga kelindi. Haqiqatan, bu sD tipidagi ulkan elliptik galaktika to'plamda joylashganligi aniqlandi. Keyinroq $\Delta T \approx 423$ sutkaga teng bo'lib chiqqan A va V tasvirlar o'zgaruvchanligidagi ushlanib qolishlar vaqti ham topildi. Muhimi, bu ushlanib qolishlar vaqti davomiyligi bo'yicha boshqa usullarga bog'liq bo'lmagan holda Xabbl konstantasi qiymatini aniqlash mumkin: $H_0 \sim \Delta \theta_{rad}^2 / \Delta T$. O'rtacha 10 ta gravlinzalanagan kvazar uchun ushbu usul $H_0 = (72 \pm 10)$ km/(s Mpk) ni beradi, bu (13 ± 2) mlrd. yil Metagalaktika yoshiga mos keladi.

Gravlinzali tasvirlar murakkab tuzilishli bo'ladi: turli yorqinlikdagi bir necha tasvirlar va manbaning "kuzatuvchi – gravlinza" ko'rish nuriga aniq tushishidagi ideal linza holatida kuzatiladigan Eynshteyn – Xvolson halqasining bir qismiga konfiguratsiyasi bo'yicha yaqin cho'zilgan yoylardan iborat.

Spiral galaktika yadrosidan atigi 3" da kuzatiladigan kvazarning to'rtta turli shu'lali tasviridan iborat bo'lgan Eynshteyn Xochi murakkab gravlinzali tasvirga qiziq misol bo'lib xizmat qiladi (14– rasm). tasvirlar yorqinligi, aftidan, rasm tekisligida tez harakatlanadigan galaktika – linzaning alohida yulduzlari ko'rish nuriga tushishi sababli vaqti-vaqti bilan o'zgaradi (qoraqarag'ay barg o'rimi (tizimi) kabi). Alohida yulduzlar gravitatsion maydonlari keltirib chiqargan bu miltirash effekti, ko'rib o'tganimizdek, mikrolinzalash deyiladi. U tasvirlar bo'linishiga olib keluvchi kuchli linzalashga asoslanadi va unga alohida komponentlar yorqinligi o'zgarishini qo'shadi.

Gravitatsion linzalash effekti uzoq kuchsiz ob'ektlarni izlashda keng qo'llaniladi: ularni kuchli gravitatsion linzalar bo'lib xizmat qilishi mumkin bo'lgan uzoq boy galaktikalar to'plamlari maydonlarida izlashadi. Aytish mumkinki, galaktikalarning har bir to'plami – bu 1 Mpk diametr "ob'ektiv"li tabiiy teleskopdir, faqatgina ulardan foydalana olish kerak. Aynan gravlinza effekti tufayli hozirda ma'lum bo'lgan ($z \approx 8 \div 9$ ga ega eng uzoqdagilari) eng uzoq kvazarlar va galaktikalardan ko'pchiligi aniqlandi. Hozirgi vaqtga kelib, bunday kvazarlarning bir necha yuzlab miqdori ochildi, ulardan ko'pchiligi o'xshash

radiospektrlar bilan radiomanbalarning yaqin jufti sifatida topildi.

Nazorat savollari:

1. Faol galaktikalar normal galaktikalardan nima bilan ajralib turadi?
2. Faol galaktikalarga qachondan ilk e'tibor qaratildi?
3. Qanaqa mezonlar bilan faol galaktikalar boshqalardan ajralib turadi?
4. Faol galaktikalarning umumiy nurlanishi energiyasi nimaga teng? Va u nimalardan tashkil topadi?
5. Faol galaktikalar modellari qanaqa kuzatuv ma'lumotlarni tushuntirib berishi kerak?
6. Radiotinch va radioshovqin galaktiklarning nurlanishlari qanaqa?
7. Kvazarlarning radionurlanish sohalari qayerda joylashgan?
8. Kvazardar yordamida Koinot qanaqa o'rganiladi?

Foydalanilgan adabiyotlar

1. peterson B.M. // Variability of active galactic nuclei // [astro-ph/0109495](#)
2. T.A.Axunov // Kvazarlar va faol galaktikalar // Ma'ruzalar matni (electron varianti)
3. Alloin D., Johnson R., Lira p. // physics of Galactic Nuclei at all Scales // Lect. Notes phys., 693 p., Springer, 2006
4. Blandford R.D., Netzer H., Woltjer L. // Active Galactic Nuclei // Saas-Fee Advanced Course, Lecture Notes, Swiss Society for Astrophysics and Astronomy, 1990
5. Surdin V.G. Galaktiki, M.: FIZMATLIT, 2013
6. Windhorst, R. A., et al. 2002, ApJS, 143, 113

Internet ma'lumotlari

1. http://hea.iki.rssi.ru/HEAD_RUS/links_k.htm
2. <https://books.google.com/books?isbn=0226069710>
3. <https://books.google.com/books?isbn=0226724573>
4. [https:// nuclphys.sinp.msu.ru/](https://nuclphys.sinp.msu.ru/)

REJA

- 5.1. *Gravitatsion linzalanish fizikasi asoslari.*
- 5.2. *Koinot o'rganishda gravitatsion linzalar o'rni.*
- 5.3. *Gravitatsion linzalarning kup rangli fotometriyasi.*
- 5.4. *Gravitatsion linza modellari.*
- 5.5. *Mikrolinzalanish va kechikish vaqtlarini aniqlash usullari.*

Tayanch iboralar: *gravitatsion linza, Eyonshteyn xalqasi, massa taqsimoti, kosmologik masofa.*

5.1. Gravitatsion linzalanish fizikasi asoslari

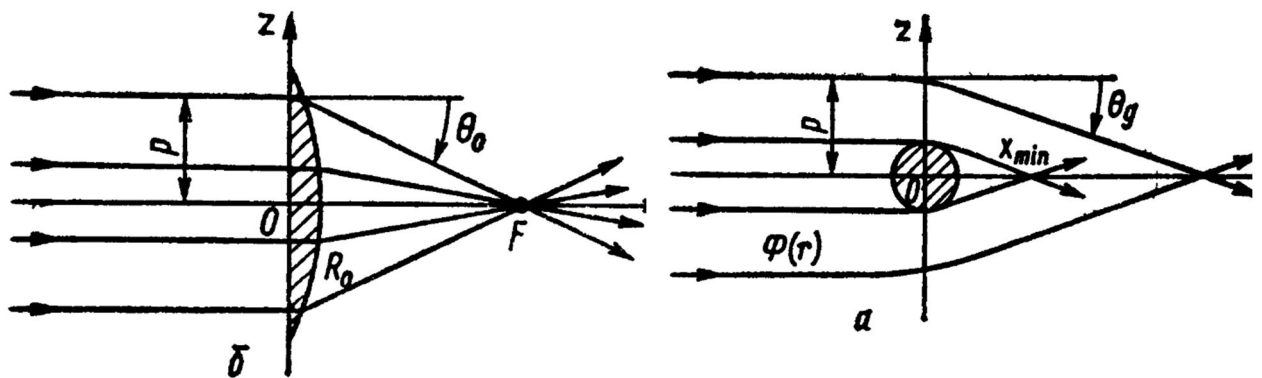
Yorug'lik nurining massiv jism tortishish maydonida sinishi va to'g'ri yo'nalishini o'zgartirishi gravitatsion linzalanish deb aytiladi va bu atama oddiy optik va gravitatsion linzalar yorug'lik oqimiga ta'sir etishi orasidagi ma'lum fizik o'xshashlikni aks ettiradi [1]. Umumnisbiylik nazariyasiga binoan, massasi M jimsdan ξ masofada o'tuvchi yorug'lik nuri

$$\hat{\alpha} = \frac{4GM}{c^2 \xi} = \frac{2R_S}{\xi} \quad (1)$$

burchakga og'adi, ya'ni sinadi. Bu yerda G gravitatsion doimiy, c – yorug'lik tezligi, $R_S = \frac{2GM}{c^2}$ – Shvarsschild radiusi, yoki boshqacha qilib aytganda bu qora o'raning radiusini beradi. Quyosh gardishi yaqinida kuzatiladigan yulduz uchun ushbu burchak $\hat{\alpha} = 1.74''$ ga teng.

Gravitatsion linzalar, huddi optik linza singari, nurni sindirib, kuzatuvchiga yig'ib beradi. Ammo shu bilan ular orasidagi o'xshashlik tugaydi. Gravitatsion va optik linzalar orasida muhim fizik farqlari mavjud. Ushbu farqlar 1-rasmda aks ettirilgan.

Birichidan, optik va gravitatsion linzalarda sinish burchaklari bir biridan keskin farq qiladi, aniqroq qilib aytganda optik linzada sinish burchagi nurning p nishon parametriga to'g'ri proporsional, gravitatsion linzada esa teskari proporsional (bu yerda F va F_g optik va gravitatsion linzalarning fokus masofalari). YA'ni, optik linzada nur markazdan qancha uzoqdan o'tsa, shuncha katta burchakga sinadi. Gravitatsion linzada esa teskari, masofa ishgan sari, sinish burchagi kamayadi. Buni masofa oshganda linzaning tortishish kuchi kamayishi bilan tushuntirsa buladi.



1-rasm. Optik (chapda) va gravitatsion (o'ngda) linzalarda nurning sinish sxemasi.

$$\theta_{Op} \cong \frac{p}{F} \quad \theta_{Gr} \cong \frac{F_g}{p} \quad (2)$$

Ikkinchidan, optik linzada singan nurlar yagona bo'lgan fokus nuqtasida yig'iladi. Gravitatsion linzada esa singan nurlar cheksiz fokal yarim o'qini tashkil qilishadi, unda cheksiz sonli tasvirlar hosil bo'ladi. Uchinchidan, optik linzada sinish burchagi nurning to'lqin uzunligiga bog'lik, binafsha nurlar qizilga nisbatan kattaroq sinadi. Gravitatsion linzada bunuqa bog'lanish yuq, hamma to'lqin uzunlikdagi nurlar bir xil sinadi.

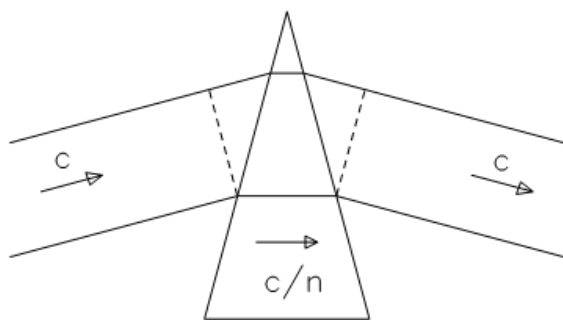
Optik linza singari bu yerda sinish koeffitsiyenti tushunchasini ham kiritiladi. Gravitatsion linzalanish xodisasi kosmologik masshtablarda ro'y bergani sababli, unda Koinotning egriligi xisobga olinadi.

Shunda sinish koeffitsiyenti n orqali koinotning egriligini ifodalasa bo'ladi [2]:

$$n = 1 - \frac{2}{c^2} \Phi = 1 + \frac{2}{c^2} |\Phi| \quad (3)$$

Buerda Φ – gravitatsion potensial, U manfiy ishoraga ega va cheksizlikka intilganda u nolga aylanadi. Oddiy geometrik optika singari, $n > 1$ sinish koeffitsiyenti nur muxitda vakuumga nisbatan sekinroq tarqalishini ko'rsatadi. Shu sababli, nurninggravitatsionmaydondagieffektivtezligi:

$$v = \frac{c}{n} \cong c - \frac{2}{c} |\Phi| \quad (4)$$



2-rasm. Nurmuhitdan o'tishi sxemasi. Nurprizmadan o'tishi.

Shishali prizmaning $n > 1$ sinish koeffitsiyenti yorug'lik tezligini c/n kiyomatigacha kamaytiradi. Bu esa nurning sinishiga olib keladi. Puktirli chiziq – to'ltin fronti. To'ltin frontlari orasidagi geometrik masofa ikkita nurlar bo'ylab turlicha bo'lgani bilan, ularni yo'l bosib o'tish vaqti bir xil, chunki chap tomondaginurkattaroqqalinlikdagimasofadano'tadi. Boshqacha qilib aytganda, bu yerda nurning vakuumga nisbatan tarqalish vaqtiga nisbatan kechikish vaqti paydo bo'ladi.

Huddi shu effektning gravitatsion linzalarda kuzatishimiz mumkin. Gravitatsion maydonda nurning effektiv tezligi kamayganligi sababli nurlar vakuumga nisbatan kechroq yetib keladi. Umumiy kechikish vaqti Δt Shapiro formulasi bilan ifodalanadi:

$$\Delta t = \int_{\text{нур манбаси}}^{\text{кузатувчи}} \frac{2}{c^3} |\Phi| dl \quad (5)$$

Prizma xolati singari, yorug'lik nuri gravitatsion maydondan o'tganda sinadi. Umumiy sinish burchagini sinish koeffitsiyenti gradiyentining kuzatish o'qiga nisbatan perpendikulyar tashkil etuvchisi integrallash orqali topiladi:

$$\hat{\alpha} = - \int \vec{\nabla}_{\perp} n dl = \frac{2}{c^3} \int \vec{\nabla}_{\perp} \Phi dl \quad (6)$$

Nuktasimon M massali gravitatsion linzaning tortishish potensialini quyidagicha yozsabo'ladi:

$$\Phi(b, z) = \frac{-GM}{(b^2 + z^2)^{\frac{1}{2}}} \quad (7)$$

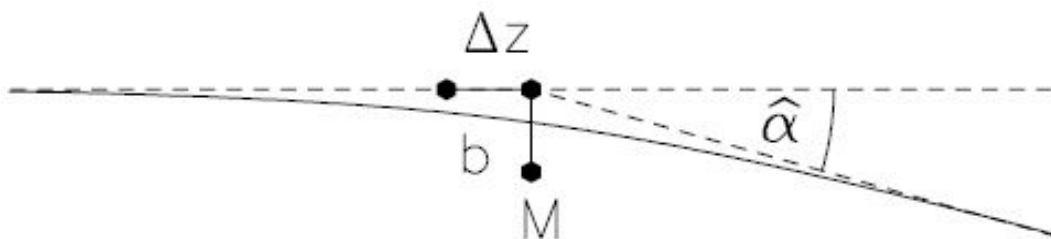
Buerda b – galayonlanmagan nurning nishon parametri, – esa nurning yuli yoki boshkacha kilib aytganda, integrallash yuli. Shundan:

$$\vec{\nabla}_{\perp} \Phi(b, z) = \frac{GM\vec{b}}{(b^2 + z^2)^{3/2}} \quad (8)$$

Buerda \vec{b} g'alayonlanmagan nurga nisbatan ortogonal yunalish. (8) tenglama keyin

sinish burchagiga olib keladi [2]:

$$\hat{\alpha} = \frac{2}{s^2} \int \vec{\nabla}_{\perp} \Phi(b, z) = \frac{4GM}{s^2 b} \quad (9)$$



3-rasm. Linza atrofidan o'tayotgan yorug'lik nuri sinishi sxemasi.

3-rasmda linza ta'sirida yorug'lik nurining sinishi sxemasi ko'rsatilgan. Bu yerda M – linza, b - nishon parametri, $\Delta z \pm b$ – sinish segmenti. Ko'rinib turibdiki, nurning sinishi kichik Δz segmentda sodir bo'ladi. Real holatlarda ushbu segment nurlanish manbasi, linzalovchi jism va kuzatuvchilar orasidagi masofaga nisbatan juda kichik, shuning uchun linzani oraliq masofalarga nisbatan yuqqa tekislikda joylashgan desak ham bo'ladi. Shunda linzaning massasini topish uchun modda taqsimotining aytilgan tekisligi proyeksiyalangan deyiladi va nur o'tish yo'li bo'yicha integral olinadi. Ushbu tekislik linza tekisligi deyiladi:

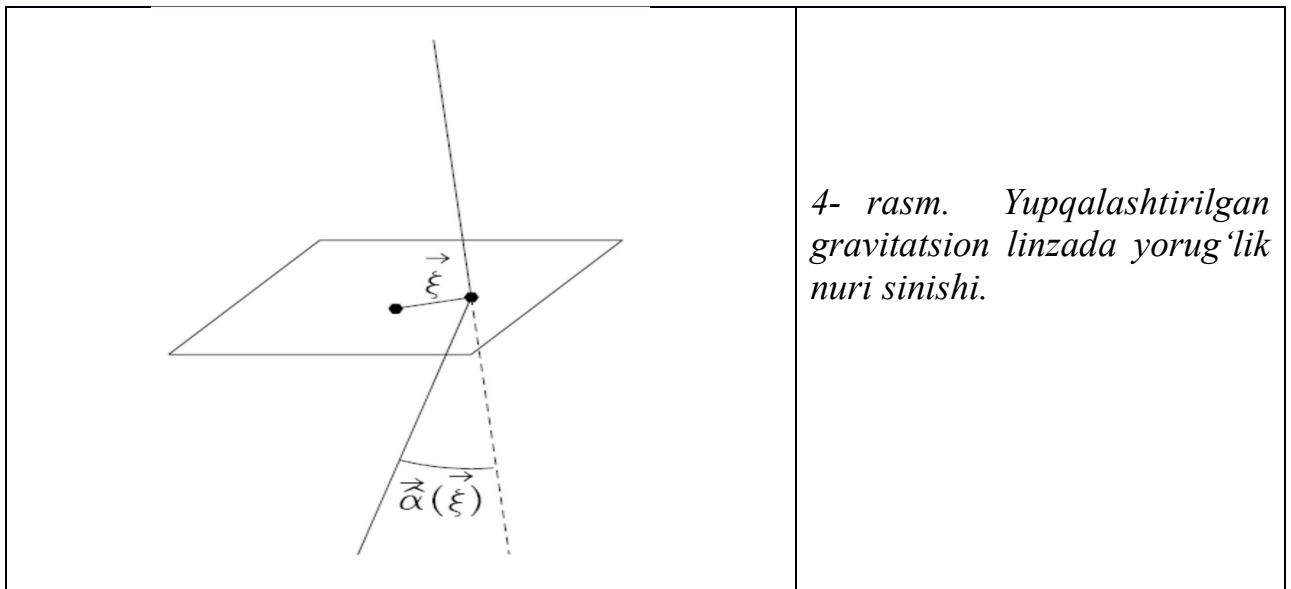
$$\Sigma(\vec{\xi}) = \int \rho(\vec{\xi}, z) dz, \quad (10)$$

bu yerda $\rho(\vec{\xi}, z)$ - linzalovchi jismning fazoviy (uch o'lchamli zichligi), $\vec{\xi}$ - linza tekisligidagi ikki o'lchamli vektor. Shunda $\vec{\xi}$ holatdagi yorug'lik nurining sinish burchagi hamma elementar massalar ta'sirida hosil bo'lgan sinishlarning summasiga teng:

$$\vec{\alpha}(\vec{\xi}) = \frac{4G}{c^2} \int \frac{(\vec{\xi} - \vec{\xi}') \Sigma(\vec{\xi}')}{|\vec{\xi} - \vec{\xi}'|^2} d^2 \xi' \quad (11)$$

Umuman olganda, sinish burchagi ikki o'lchamli vektordir. Hususiy holda, aylana simmetriyali linzani qaraymiz. Unda koordinatalar sistemasini simmetriya markaziga joylashtirishimiz mumkin va unda bu masalalar bir o'lchamli holgacha soddalashadi. Unda sinish burchagini quyidagicha yozishimiz mumkin:

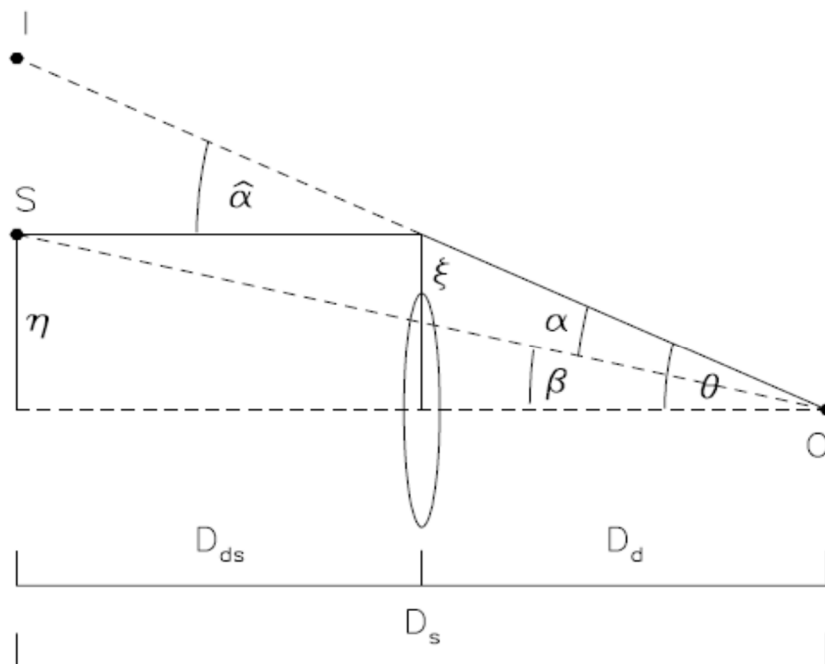
$$\hat{\alpha}(\xi) = \frac{4GM(\xi)}{c^2 \xi} \quad (12)$$



4- rasm. Yupqalashtirilgan gravitatsion linzada yorug'lik nuri sinishi.

Bu yerda ξ endi linza markazidan masofa va $M(\xi)$ - ξ radius ichida jamlangan massa:

$$M(\xi) = 2\pi \int_0^\xi \Sigma(\xi') \xi' d\xi' \quad (13)$$



5-rasm. Gravitatsion linzalanish geometriyasi.

Umuman olganda, gravitatsion linzalanish hodisasini 5-rasmdagi sxema bilan ifolasa bo'ladi. Bu yerda O - kuzatuvchi, S – nurlanish manbasi, o'rtada linza joylashgan. Manba, linza va kuzatuvchidan iborat bo'lgan konfiguratsiya

gravitatsion linzalangan sistema (GLS) deyiladi. Markazdagi gorizonta punktir chizig‘i bu sistemaning optik o‘qi. Manba markazdan η masofada joylashgan, nur esa markazdan ξ masofada o‘tib, $\hat{\alpha}$ burchakda sinyapdi. Natijada mavhum tasvir I hosil bo‘lyapti. Markazdan manbagacha bo‘lgan burchak masofa $-\beta$ (yoki boshqacha qilib aytganda manbaning holati), mavhum tasvirning holati esa $\theta D_s, D_d$. va D_{ds} g‘ kuzatuvchidan manbagacha, kuzatuvchidan linzagacha va linzadan manbagacha bo‘lgan masofalar. Kosmologik masshtablarda $D_s \neq D_{ds} + D_d$ ekanligini inobatga olish zarur. Ushbu masofalarni topish uchun odatda Fridman-Volker kosmologik modelidan foydalaniladi [3]:

$$D(z_D, z_S) = \frac{2c}{H_o \Omega_o^2 (1+z_D)(1+z_S)^2} \left[(2 + \Omega_o(z_S - 1))\sqrt{\Omega_o z_S + 1} - (2 + \Omega_o(z_D - 1))\sqrt{\Omega_o z_S + 1} \right] \quad (14)L$$

Linza atrofida singan nur $\vec{\alpha}$ burchakga sinib, kuzatuvchi O tomonga ketadi. Shunda ko‘rinma sinish burchagi:

$$\vec{\alpha} = \frac{D_{ds}}{D_s} \quad (15)$$

Ikkinchi tomondan, $\theta D_s = \beta D_s - \hat{\alpha} D_{ds}$. Shuning uchun manba va uning mavhum tasvirlari holatlari bir biri bilan quyidagi tenglama bilan bog‘langan:

$$\vec{\beta} = \vec{\theta} - \vec{\alpha}(\vec{\theta}) \quad (16)$$

Bu linza tenglamasi deyiladi. Ushbu tenglama gravitatsion linzalangan sistemalar uchun eng muhim tenglama hisoblanadi, chunki uning yechimlari mavhum tasvirlarning holatlarini va sonini belgilaydi.

5.2. Koinot o‘rganishda gravitatsion linzalar o‘rni

Gravitatsion linzalanishning keyingi muhim xususiyatlaridan biri bu kuchayish koeffitsiyenti. Agarda linza sifatida moddasi bir tekis taqsimlangan linzani qarasaq, unda (12) formuladan quyidagi kelib chiqadi:

$$\alpha(\theta) = \frac{D_{ds}}{D_s} \frac{4G}{c^2 \xi} (\Sigma \pi \xi^2) = \frac{4\pi G \Sigma D_d D_{ds}}{c^2 D_s} \theta, \quad (17)$$

Bu yerda $\xi = D_d \theta$. Bu holda linza tenglamasi chiziqli bo‘lib, $\beta \propto \theta$. Shunda biz kritik yuza zichligini kiritsak bo‘ladi:

$$\Sigma_{cr} = \frac{c^2}{4\pi G} \frac{D_s}{D_d D_{ds}} = 0.35 \text{ g cm}^{-2} \left(\frac{D}{1 \text{ Gpc}} \right)^{-1}, \quad (18)$$

Bu yerda D - keltirilgan masofa $D = \frac{D_d D_{ds}}{D_s}$.

Moddasi bir tekis yuza zichligiga Σ_{cr} ega bo‘lgan gravitatsion linzada nurning sinish burchagi $\alpha(\theta) = \theta$ va shu sababli ham θ lar uchun $\beta = 0$. Bunaqa linza ideal linzalaydi. Ammo asli hollarda gravitatsion linzalar bundan farqlanadi. Agarda linzaning yuza zichligi kritik qiymatidan katta bo‘lsa, karrali mavhum

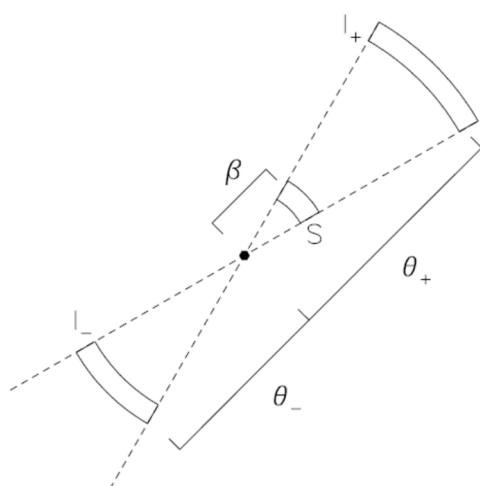
tasvirlar hosil bo'lishi mumkin. Aks holda kuchsiz linzalanish bo'ladi. Gravitatsion linza nuqtasimon ko'rinishiga ega deb olsak, linza tenglamasi quyidagicha yoziladi:

$$\beta(\theta) = \theta - \frac{D_{ds}}{D_d D_s} \frac{4GM(\theta)}{c^2 \theta} \quad (19)$$

Agarda gravitatsion linzalanigan sistemada linza aylanali simmetriyaga ega bo'lsa va manba aylana optik o'qida yotsa ($\beta = \theta$), unda biz xalqa ko'rinishdagi tasvirni kuzatamiz. Linza tenglamasiga $\beta = \theta$ shartni qo'llasak, ushbu aylananing radiusiga kelamiz:

$$\theta_E = \left[\frac{4GM(\theta_E)}{c^2} \frac{D_{ds}}{D_d D_s} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (20)$$

Bu xalqa Eynshteyn xalqasi deyiladi va u GLSning tabiiy masshtab birligi hisoblanadi. U nafaqat linzaning massasiga, balkim yana sistema tashkil etuvchilarining o'zaro masofalariga ham bog'liq.



6-rasm. Kuchaygan tasvirlarning hosil bo'lish sxemasi

Gravitatsion linzalanishning keyingi muhim hususiyati bu kuchayish koeffitsiyentidir. Gravitatsion linzalanishdagi nurning sinishi tasvirlarning yuza yorqinligini o'zgartirmaydi. Ammo bunda tasvirlarning ko'rinish o'lchamlari oshadi. Shuning uchun kuchayish koeffitsiyenti tashunchasi kiritiladi va u quyidagicha teng:

$$\text{кучайиш} = \frac{\text{таsvир юзаси}}{\text{манба юзаси}}$$

Aylana simmetriyalı linza uchun kuchayish koeffitsiyenti quyidagi formula bilan beriladi:

$$\mu = \frac{\theta}{\beta} \frac{d\theta}{d\beta}.$$

Xosil bo'ladigan tasvirlarning kuchayishlari hususiy kuchayish koeffitsiyentlari bilan ifodalanadi:

$$\mu_{\pm} = \left[1 - \left(\frac{\theta_E}{\theta_{\pm}} \right)^4 \right]^{-1} = \frac{u^2 2}{2u\sqrt{u^2 + 4}} \pm \frac{1}{2} \quad (21)$$

Bu yerda u manbaning linza markaziga nisbatan Eynshteyn radiusi birligidagi burchak masofasi: $u = \beta \theta_E^-$. Sistemaning umumiy kuchayish koeffitsiyenti

$$\mu = |\mu_+| + |\mu_-| = \frac{u^2 + 2}{u\sqrt{u^2 + 4}}$$

Umumiy holda kuchayish koeffitsiyenti Yakobi matritsasi yordamida aniqlanadi.

Agar bizga manbaning $-\vec{\beta}$ va tasvirning $-\vec{\theta}$ burchak koordinatalari ma'lum bo'lsa, u holda kuchaytirish koeffitsiyenti quyidagicha ifodalanadi:

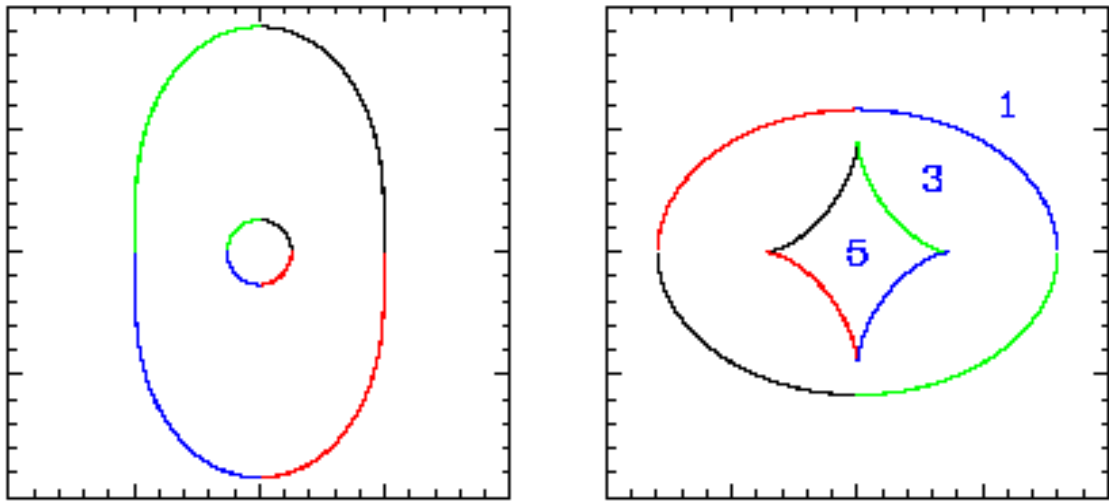
$$\mu \frac{d\Omega_i}{d\Omega_s} = \left| \det \frac{d\beta}{d\theta} \right|^{-1} \quad (22)$$

Bu GL da moddiy burchakning o'zgarishi $\vec{\theta} \rightarrow \vec{\beta}$ akslanishi Yakobi matritsasi orqali ifodalanishini anglatadi. Massasi sferik simmetrik taqsimotga ega linza uchun (22) ifoda quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\mu = \frac{\theta}{\beta} \frac{d\theta}{d\beta} = \frac{\theta}{\beta} \left(\frac{1}{1 - da/d\theta} \right) \quad (23)$$

Agar linzalanishda manbaning bir nechta tasviri hosil bo'lsa, u holda kuchaytirishning mos koeffitsiyentlari nisbati, tasvirdan kelayotgan oqimlar nisbatiga teng.

Yakobi matritsasi ko'rsatkichi manfiy va musbat qiymat qabul qilishi yoki 0 ga aylanishi mumkin (bunda $\mu \rightarrow \infty$). Shuning uchun tasvirning manfiy yoki musbat juftligi haqida buni gapirish mumkin. Linza tekisligida tasvir juftligi har xil qutbli bo'lishi mumkin bo'lgan soha hosil bo'ladi. Bunday sohalar yakobian nolga aylanadigan joyda kritik egri chig'iqalar bilan ajratilgan. Manbaning tekisligida kritik egri chiziqlarni aks ettirishda biz kaustik egri chiziqlarni olamiz. Aytish kerakki, kritik egri chiziqda $\mu \rightarrow \infty$ shart tasvir yorqinligi cheksizlikgacha ortishni anglatmaydi, chunki tabiatda real manbalar chekli burchak o'lchamga ega bo'lishadi, bu esa cheklangan kuchaytirish koeffitsiyentiga olib keladi.



7-rasm. Elliptik massa taqsimotiga ega linza uchun kritik (chapda) va kuastik (o'ngda) egri chiziq. Tasvirning o'ng tomonidagi sonlar, manba mos sohaga tushganda hosil bo'ladigan tasvirlar sonini ko'rsatadi. [4].

Kritik va kuastik chiziqlarning shakli GL dagi massa taqsimotiga bog'liq. Sferik massa taqsimoti uchun kritik egri chiziq, akslanishda nuqtaga aylanuvchi aylana ko'rinishida bo'ladi. Elliptik taqsimot uchun esa kritik egri chiziqlar ellips ko'rinishida bo'ladi. Ular akslanganda rombik kuastika hosil bo'ladi (7-rasm).

Gravitatsion linzalanish Koinotni va uning obyektlarini o'rganishda muhim rol o'ynaydi. Uning yordamida Koinotning geometriyasi va egriligi, undagi modda, shu jumladan qora modda, taqsimoti, Koinotning asosiy tashkil etuvchilari – galaktikalar va uning eng uzoq bo'lgan obyektlari – kvazarlar fizikasini amalda o'rgansa bo'ladi.

Qisqacha qilib aytganda gravitatsion linzalanish o'zini juda keng va qiziqarli effektlari bilan ajralib turadi. Shu bilan birga gravitatsion linzalanish astrofizikaning muhim muammolarini yechishda katta yordam beradi. Gravitatsion linzalanishni amaldagi qo'llanilishi mumkin bo'lgan sohalarini quyidagicha sanab o'tsa bo'ladi:

Kuchayish effekti yordamida juda uzoq va shu sababli o'ta hira obyektlarni kuzatishga imkon beradi. Linzalanishsiz ularni kuzatib bo'lmas edi. Shu sababli gravitatsion linzalar kosmik teleskoplar ham deyishadi. Ushbu teleskopni biz hohlagan nuqtaga yo'naltiraolmasak ham u beradigan barcha ma'lumotlar Koinotni o'rganishda bebahodir.

Gravitatsion linzalanish faqatgina linzadagi massa taqsimotining ikki o'lchamli proyeksiyasiga bog'liq va na uning ravshanligiga na tarkibiga bog'liq emas. Shuning uchun linzalanish qora moddani aniqlashda va uni o'rganishda juda qulay vosita deb hisoblanadi.

Gravitatsion linzalanish sistemalar va ular komponentalarining hususiyatlari Koinotning yoshi, masshtabi va geometriyasiga bog'liq. Shu sababli Habbli doimiysini, kosmologik doimiylarini, zichlik parametrini aniqlashda gravitatsion linzalanishdan olingan ma'lumotlardan foydalansa bo'ladi.

5.3. Gravitatsion linza modellari

Yuqorida aytilgandek, koinot va uning tashkil etuvchilarining hususiyatlarini o'rganish uchun ham kuzatuv ham nazariy yondoshishlar qo'llaniladi. Aniqroq qilib aytganda, linza hususiyatlarini o'rganish uchun avvalom bor linza tenglamasini analitik yoki sonli yechimlarini topish lozim. Biz kuzatuvlardan mavxum tasvirlarning koordinatalarini va ravshanliklarini aniqlashimiz mumkin, ko'p xollarda linzaning hususiyatlari bizga noma'lum bo'lib qoladi. Ularni topish uchun modellashtirishlar qo'llaniladi. YA'ni, linza ma'lum bir analitik ko'rinishdagi taqsimotga ega deb qabul qilinadi va unga asoslanib, linza tenglamasi yechiladi. Yechimi natijasida mavxum tasvirlarning modellashtirilgan tasvirlari qo'lga kiritiladi. Ular asli koordinatalari bilan solishtiriladi. Agarda ular bir biri bilan mos tushsa, unda linzadagi modda taqsimoti to'g'ri topildi deb qabul qilinadi.

Hozirgi kunga kelib ko'p sonli modellar ishlab chiqilgan. Ulardan eng soddasi bu nuqtasimon linza modeli. Unda linzalovchi jismdagi modda o'lchamsiz nuqtaga yig'ilgan deb olinadi. Ushbu modelning asosiy hususiyatlari oldingi paragrafda keltirilgan (qarang 19-23 formulalar). Tushunarliki, bu o'ta ideal yaqinlashish va real holatlarda murakkabroq modellar ishlatilishi kerak. Bunda birinchi navbatda singulyar izotermik sferani (SIS) aytishimiz zarur.

Galktikalardagi modda taqsimotini ifodalayotganda uni tashkil etayotgan obyektlar (yulduzlar, sayyoralar va boshqa massa komponentlari) ideal gaz parchalari hususiyatlariga ega deb qabul qilishimiz mumkin. Bunday zarralarning (ularni endi yulduzlar deyishimiz mumkin) holati quyidagi formula bilan ifodalanadi:

$$\rho = \frac{\rho k T}{m}, \quad (24)$$

bu yerda ρ - modda zichligi, m - yulduzning massasi. Termodinamik muvozanat holatida sistemaning harorati T tezliklar dispersiyasi σ_v bilan sodda formula orqali bog'langan:

$$m\sigma_v^2 = kT \quad (25)$$

Demak, bunaqa sistemada harorat va tezliklar dispersiyasi ekvivalent kattaliklar deb hisoblanadi va ular umumiy holda r - radiusga bog'liq. Ammo odatda bunaqa sistemalar izotermik deb olinadi va bunda σ_v butun galaktika hajmi bo'yicha konstanta deb olinadi. Shunda gidrodinamik tenglamasini yozish mumkin:

$$\frac{\rho'}{\rho} = \frac{GM(r)}{r^2}, M'(r) = 4\pi r^2 \rho \quad (26)$$

bu yerda $M(r)$ - r radius ichidagi massa. Shunda (24)ning eng sodda yechimi (26)dan kelib chiqadi:

$$\rho(r) = \frac{\sigma_v^2}{2\pi G} \frac{1}{r^2} \quad (27)$$

Ushbu ko‘rinishdagi modda taqsimoti singulyar izotermik sfera deyiladi. Bu yerda $\rho \propto r^{-2}$, bo‘lganligi sababli massa $M(r) \sim r$ qonuniyat bilan oshadi. Shuning uchun singulyar izotermik sferaning tortishish maydonidagi zarralarning aylanish tezligi

$$v_{rot}^2(r) = \frac{GM(r)}{r} = 2\sigma_v^2 = constant$$

Bu modelda aylanish egri chizig‘ini tekis shaklida bo‘ladi. Endi modelning yuza zichligini yozishimiz mumkin

$$\Sigma(\xi) = \frac{\sigma_v^2}{2G\xi}$$

(12) formulaga qo‘ysak, sinish burchagini qo‘lga kiritamiz

$$\hat{\alpha} = 4\pi = \frac{\sigma_v^2}{c^2} = (1.4'') \left(\frac{\sigma_v}{220 \text{ km s}^{-1}} \right)^2 \quad (28)$$

ko‘rinib turgandek, bu sinish burchagi endi ξ masofaga bog‘liq emas. Bu modelning Eynshteyn halqasi radiusi uchun ifoda quyidagicha

$$\theta_E = 4\pi \frac{\sigma_v^2}{c^2} \frac{D_{ds}}{D_s} = \hat{\alpha} \frac{D_{ds}}{D_s} = \alpha$$

SIS modeli aylana simmetriyaga ega bo‘lganligi sababli linza tenglamasi bir o‘lchamli bo‘ladi. Karrali tasvirlar hosil bo‘lishi uchun manba Eynshteyn xalqasi ichida bo‘lishi zarur ($\beta < \theta_E$). Bunda linza tenglamasining yechimi juda sodda ko‘rinishga ega bo‘ladi:

$$\theta_{\pm} = \beta \pm \theta_E \quad (29)$$

Ikkala tasvirlarning kuchayish koeffitsiyentlari ham sodda holda yoziladi

$$\mu_{\pm} = \frac{\theta_{\pm}}{\beta} = 1 \pm \frac{\theta_E}{\beta} = \left(1 \mp \frac{\theta_E}{\theta_{\pm}} \right)^{-1}$$

Agarda nurlanish manbasi Eynshteyn xalqasining tashqarisida joylashgan bo‘lsa ($\beta > \theta_E$), unda biz faqat bitta g‘alayonlangan tasvirni kuzatishimiz mumkin.

Real holatlarga yaqin bo‘lgan elliptik galaktikalar modelini qaraymiz. Uni ifodalashda izozichliklar konturlarini o‘rganish kerak bo‘ladi. Yadroga ega bo‘lgan izotermik sferaning umumiy lashtirilishi quyidagi ifodani beradi:

$$\Sigma(\theta_1, \theta_2) = \frac{\Sigma_0}{[\theta_1^2 + (1 - \epsilon)\theta_1^2 + (1 + \epsilon)\theta_2^2]^{1/2}} \quad (30)$$

bu yerda θ_1, θ_2 - sistema markaziga nisbatan tekisligidagi ikkita o‘q bo‘yicha koordinatalar. $\psi(\theta_1, \theta_2)$ - modelning potentsiali. Massa taqsimoti elliptik shakliga ega bo‘lganligi va unda ma‘lum o‘lchamli yadro θ_c mavjudligi sababli sinish burchaklari xar bir koordinata o‘qi bo‘yicha alohida yoziladi:

$$\alpha_1 = \frac{8\pi G\Sigma_0}{\sqrt{2\epsilon c^2}} \tan^{-1} \left[\frac{\sqrt{2\epsilon} \cos\phi}{(1 - \epsilon \cos 2\phi)^{\frac{1}{2}}} \right],$$

$$\alpha_2 = \frac{8\pi G\Sigma_0}{\sqrt{2\epsilon c^2}} \tanh^{-1} \left[\frac{\sqrt{2\epsilon} \sin\phi}{(1 - \epsilon \cos 2\phi)^{\frac{1}{2}}} \right],$$

va kuchayish koeffitsiyenti

$$\mu^{-1} = 1 - \frac{8\pi G\Sigma_0}{c^2 (\theta_1^2 + \theta_2^2)^{\frac{1}{2}} (1 - \epsilon \cos 2\phi)^{\frac{1}{2}}},$$

Bu yerda ϕ qutb burchagi va u $\vec{\theta} \equiv (\theta_1, \theta_2)$ vektorga mos keladi.

Ba'zi hollarda elliptik zichlik modeli o'rniga linzaning potensialini qo'llash mumkin:

$$\psi(\theta_1, \theta_2) = \frac{D_{ds}}{D_s} 4\pi \frac{\sigma_v^2}{c^2} [\theta_c^2 + (1 - \epsilon)\theta_1^2 + (1 + \epsilon)\theta_2^2]^{1/2},$$

Bu yerda ϵ elliptiklik darajasini beradi.

Bunaqa modellar nazariyasi keng rivojlangan va har bir gravitatsion linzalangan sistema uchun bir nechta modellarni qo'llasa bo'ladi. Misol sifatida quyidagi keng qo'llaniladigan modellarni ko'rsatsa bo'ladi:

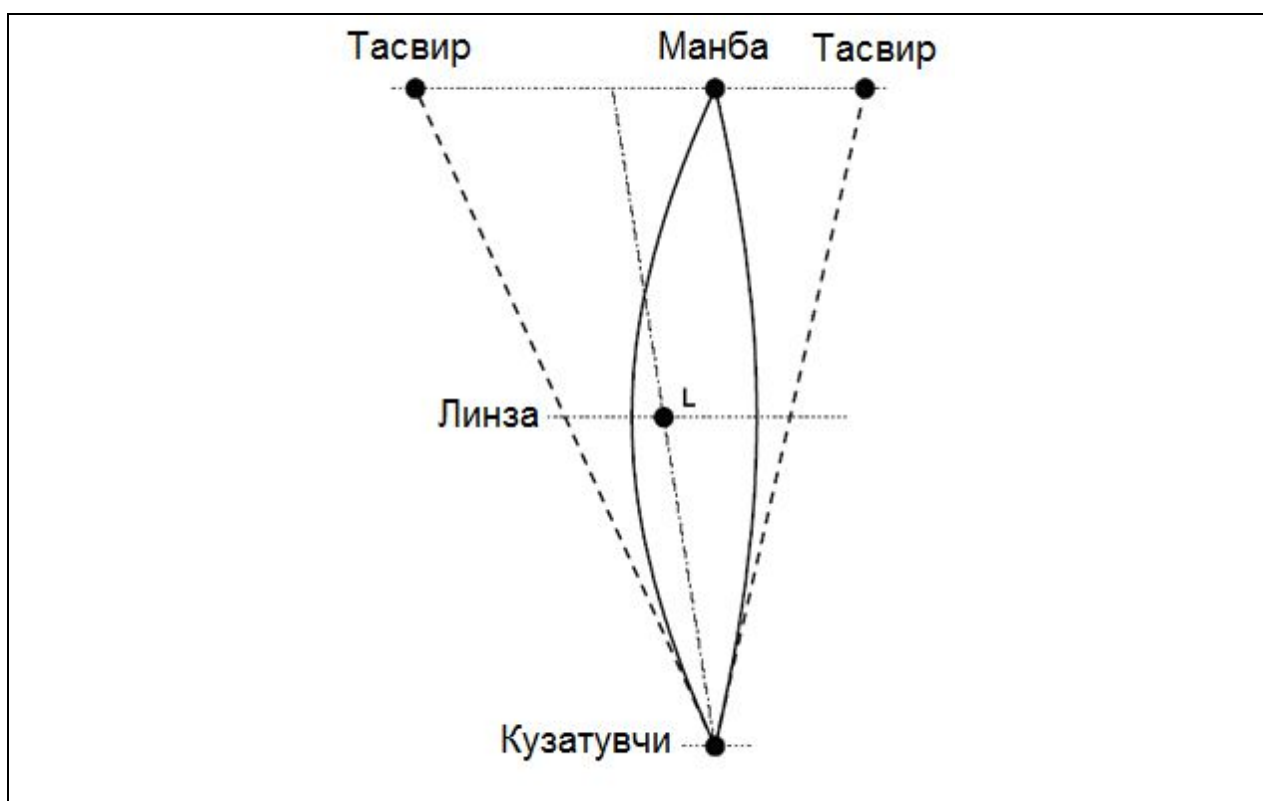
Linza modeli	Linzaning gravitatsion potensialini $\psi(\theta)$	Sinish burchagi $\alpha(\theta)$
Nuqtasimon linza	$\frac{D_{ds}}{D_s} \frac{4GM}{D_d c^2} \ln \theta $	$\frac{D_{ds}}{D_s} \frac{4GM}{c^2 D_d \theta }$
SIS	$\frac{D_{ds}}{D_s} \frac{4\pi\sigma^2}{c^2} \theta $	$\frac{D_{ds}}{D_s} \frac{4\pi\sigma^2}{c^2}$
Sillig'lashtirilgan SIS	$\frac{D_{ds}}{D_s} \frac{4\pi\sigma^2}{c^2} (\theta_c^2 + \theta^2)^{1/2}$	$\frac{D_{ds}}{D_s} \frac{4\pi\sigma^2}{c^2} \frac{\theta}{(\theta_c^2 + \theta^2)^{1/2}}$
Doimiy zichlik yuzasi	$\frac{k}{2} \theta^2$	$k \theta $

5.4. Mikrolinzalaniş va kechikish vaqti va muammolari

Ushbu paragrafda biz GLS dagi kechikish vaqti (Δt) va mikrolinzalaniş bilan bog'liq bo'lgan muammolarni kengroq yoritishni hohlaymiz. Kechikish vaqti manbadan kuzatuvchiga yorug'lik har komponentadan har xil yo'llar orqali yetib kelishi natijasida paydo bo'ladi (8-rasm). Bu manbada sodir bo'lgan qandaydir hodisa dastlab, ilg'or komponentada, faqat qandaydir Δt vaqtdan keyingina boshqa

komponentada namoyon bo'lishini bildiradi.

GLS kuzatuv ma'lumotlari tahlili Koinotning va linzalanishda ishtirok etuvchi obyektlarning tabiatiga xos bo'lgan bir qator muhim natijalar olish imkonini beradi. Shuning uchun gravitatsion linzalar, umumiy qilib aytganda, kosmik teleskoplar hisoblanishadi. Kuchaytirish effekti hisobiga biz, boshqa usullar bilan kuzatishning iloji bo'lmagan, Koinotdagi eng uzoq obyektlarni – kvazarlarni kuzatishimiz mumkin. Bugungi kunda ma'lum bo'lgan eng uzoqdagi ($z_q = 10.2$) kvazarlar aynan galaktikalar to'dalarida gravitatsion linzalanish oqibatida topilgan. Kvazarlar, ma'lumki, o'z evolyusiyasining boshlang'ich bosqichlaridagi galaktikalar hisoblanadi. Demak, asosan nazariy o'rganiladigan narsa kuzatuvdan tasdiqlandi.



8-rasm. Bunda ikkita singan nurlarning yo'llari ko'rsatilgan. Nurlar kuzatiladigan mavhum tasvirlarga mos keladi. Linza L manba S va kuzatuvchi O orasida joylashgan va linza bitta manbaning ikkita mavhum (S_1, S_2) tasvirlarini shakillantiradi.

Bunda kechikish vaqtining ma'lum qiymati ham yordam berishi mumkin. Gap shundaki, observatoriyalarning joylashuvi sababli ko'plab kvazarlarni uzluksiz kuzatishning imkoni yo'q. Yorqinlik egri chizig'i kuzatuvning mavsumiy uzulishlari sababli qiyinchilikka duch keladi. Biroq, agar qaysidir GLS uchun Δt qiymati ma'lum bo'lsa, uning yordamida kvazarining to'laqonli yorqinlik egri chizig'ini olish mumkin.

Boshqa tomondan, GL oraliq masofa indikatorlariga bog'liq bo'lmagan ravishda to'g'ridan to'g'ri Xabbl doimiysi H_0 ni aniqlash imkonini beradi. Bu usul 1964 yilda S. Refsdal tomonidan, orqada linza-galaktika ko'rish nuriga yaqinroq joylashgan manba – o'ta yangi yulduz uchun taklif etilgan. Ma'lum GLS lar bo'yicha aniqlangan Xabbl doimiysining yoyilishi tahminan ~20% ni tashkil etadi, ya'ni 52 dan 69 gacha taxminan ± 20 kun xatolik bilan [5]. Bu farqlar qator faktorlar bilan tushuntiriladi: galaktika-linzadagi massa taqsimotini modellashtirishda parametrlarning noaniqligi, Δt ni aniqlashda yorqinlik egri chizig'ining notekisligi ta'siri va boshqalar. Biroq, umuman qaraganda, H_0 ning olingan qiymatlari yaxshi mos keladi.

Umumiy holda, kechikish vaqti Koinotning geometrik va relyativistik xususiyatlari bilan bog'liq, shuning uchun Δt funksiya ushbu ikkita qismning yig'indisi hisoblanadi:

$$\Delta t(\bar{\theta}, \bar{\beta}) = t_{geom} + t_{grav} = \frac{1 + Z_L}{c} \frac{D_L D_S}{D_{LS}} \left(\frac{1}{2} (\bar{\theta} - \bar{\beta})^2 - \psi(\bar{\theta}) \right) \quad (31)$$

bu yerda $\psi(\bar{\theta})$ - GL ning ikki o'lchamli potentsiali.

Ko'rinib turibdiki, kechikish vaqti – GLS ning asosiy parametri, u linzaning strukturasi va Koinot xususiyatlari haqida xulosa chiqarishga imkon beradi. Ayrim sistemalar (Q0957+561, B1422+231, B1608+656va boshqalar) uchun Δt qiymati radio- yoki rentgen [6] diapazondagi kuzatuvlar yorqinlik egri chizig'i yordamida o'lchangan bo'lishiga qaramasdan, kechikish vaqtini aniqlashdagi sezilarli ko'proq hissani optik monitoring beradi. Hozirgi vaqtda kelib kechikish vaqti qiymatlari katta ehtimollik bilan 30dan ortiq GLSlar uchun ma'lum.

Kechikish vaqtini aniqlash juda murakkab masala. Tipik misol – Q0957 GLS bo'lib, Δt ni o'lchashga kvazar ochilishi bilanoq kirishishgan. Ham optik ham radio diapazonda kuzatuvlar olib boruvchi har xil guruhlar [8], bir-birida katta farq qiluvchi qiymatlarni berishdi (410 kundan 540 kungacha). Bu muammo 1994-1996 yillarda nisbatan kuchli $\Delta t = 417 \pm 3$ kun farq bilan o'zgaruvchanligi aniqlangandan keyinhal qilindi.

Kechikish vaqtining aniq qiymatini aniqlashdagi qiyinchiliklar, birinchidan, mavsumiy kuzatuvlar uzulishlari borligi va ma'lumotlar to'plamining cheklanganligi, hamda linzalovchi galaktikadagi mikrolinzalarning ehtimoliy ta'siri bilan bog'liq. Bu effektlarni hisobga olish uchun bir qator metodlar ishlab chiqildi. Ularni shartli ravishda ikkiga ajratish mumkin: diskret (bevosita kuzatuv ma'lumotlarini ishlatuvchi) va ma'lumotlarni interpolyatsiya qilish uchun har xil turdagi analitik funksiyalarni ishlatuvchi. Umuman olganda, barcha metodlar uchun quyidagicha yondashuv o'rinli, aynan qaysidir komponentaning yorqinlik egri chizig'i doimiy qadam bilan vaqt bo'yicha ortga (oldinga) u ergashuvchi yoki yetakchi ekanligiga bog'liq ravishda harakatlanadi. Har bir siljishda ikkita egri chiziq orasidagi moslik darajasi (misol uchun, korrelyatsiya yoki minimizatsiya) hisoblanadi. Oxir oqibat, maksimal darajada mos bo'lgan siljish kattaligi kechikish vaqtining ehtimoliy qiymati sifatida qabul qilinadi.

Birinchiildan bo'lib dispers spektrlar metodi taklif qilingan. Uning yordamida Q0957GLS ning Δt hisoblangan. Boshqa metodlar quyidagi ko'rinishdagi diskret krosskorrelyatsion funksiyalar (DCF) qo'llanilishiga asoslangan:

$$DCF(t) = \frac{1}{M} \sum_{i,j} \frac{(a_i - \bar{a})(b_j - \bar{b})}{\sqrt{(\sigma_a^2 - \varepsilon_a^2)(\sigma_b^2 - \varepsilon_b^2)}} \quad (32)$$

bu yerda $M - (a_i, b_i)t$ siljishni hisobga olgan holda (a_i, b_i) ma'lumotlar jufti soni, ε_x - o'lchash xatoligi, σ_x - standart chetlashishva \bar{a}, \bar{b} - mos komponentlarning o'rtacha qiymati. Har xil mualliflar tomonidan (32) funksiyaning modifitsikatsiyalangan versiyalari qo'llanilgan, masalan, lokal normallashtirilgan DCF , uzluksiz aniqlanuvchi DCF , oxirgi ikkitasining kombinatsiyasi. Ma'lumotlar orasidagi mos keluvchanlik o'lchovi sifatida χ^2 minimizatsiyani ham qo'llash mumkin, masalan, quyidagi ko'rinishda:

$$\chi^2 = \frac{1}{N-2} \sum_{i=1}^N \frac{(A(t_i) - B(t_i + \Delta t) - \Delta m)^2}{\sigma_A^2 - \sigma_B^2} \quad (33)$$

bu yerda N - ham ma'lumotlar jufti soni, Δm - ikkita komponentlar ikkita ma'lumotlari orasidagi o'rtacha farq. Shu usul bilan SBS1520GLS ning birmuncha aniqroq kechikish vaqti qiymati $\Delta t = 130 \pm 3$ kun olindi.

Diskret metodlar tahlili, ular uzoq kuzatuv davriga mos keluvchi ko'p ma'lumotlar bo'lgan holda yaxshi ishlashini ko'rsatdi, bunda yana mavsumlar oralig'idagi uzulishlar kutilayotgan Δt qiymatidan kichik yoki uning qiymati atrofida bo'lishi kerak. Aks holda, ayniqsa kam ma'lumot bo'lgan holda, ma'lumotlarni interpretatsiya qilgan va shu yo'sinda to'laqonli yorqinlik egri chizig'ini olgan ma'qulroq. Interpolyatsiyani har xil usulda o'tkazish mumkin, masalan Furye qatoriga yoyish, chiziqli interpolyatsiya, turli darajadagi polinomlar va boshqa funksiyalar bilan approksimatsiya qilish. Biroq, bunday yondashuvning asosiy kamchiligi bu holda qandaydir taxmin qilish zarurligidir, masalan sekin o'zgaruvchi o'zgaruvchanlik yoki mikrolinzalanishning yo'qligi va shu kabilar haqida. Shu bilan birga o'zgaruvchanlik to'g'risida noto'g'ri informatsiya olish yoki aksincha, qandaydir xususiyatlarni boy berish mumkin. Bu metodni juda ehtiyotkorlik bilan ishlatish zarur.

Biz yuqorida qarab chiqqan linzalanish tipi tasvirlar orasidagi masofa taxminan $\sim 1''$ va undan katta bo'lgan massiv galaktikalar maydoni ta'sirida hosil bo'ladi. Bunday tipdagi linzalanish yana *mikrolinzalanish* deb ham yuritiladi. Endi, galaktika tomonidan sindirilgan nurlardan biri u yoki uning galosi orqali o'tadi deb tasavvur qilamiz. Bu holda nurga, galaktikani tashkil qiluvchi kompakt obyektlar - planetalar, yulduzlar, qora o'ralar va shu kabi mikrolinzalar deb yuritiluvchi obyektlarning gravitatsion maydoni ta'sir qiladi. Ular obyektning yana kamida bitta tasvirini berishadi. Mos ravishda ushbu hodisaning o'zi *mikrolinzalanish* deyiladi. Chunki og'ish burchagi mikrolinzalanishda judayam kichik (10^{-5} burchak

sekundi atrofida), hozircha zamonaviy asboblarning yordamida bu kabi mikrotasvirni ko'rishning iloji yo'q, chunki mikroqiyamatlar ularning sezgirlik chegarasidan tashqarida yotadi. Butun galaktikaning va yakka yulduzning massasidagi katta farqqa qaramasdan, bunday kichik obyektlar, obyektning kuzatilayotgan mikrotasvirlaridan birining yorqinligiga sezilarli ta'sir qila olishini topishdi. Bu o'zgarishlar "manba –kvazar"–"galaktika–linza"–"mikrolinza"–"kuzatuvchi" fazoviy konfiguratsiyasida vaqt bo'yicha o'zgarishi oqibatida yuzaga keladi.

Agar tadqiq qilinayotgan GLS komponentalari orasidagi kechikish vaqtining aniq qiymati ma'lum bo'lsa, mikrolinzalanish muammosini aniqlash birmuncha soddalashadi. Darhaqiqat, agar yetaklovchi komponentaning egri chizig'i Δt qiymatiga yetaklovchi komponentaga nisbatan siljisa, ulardan birida yorqinlikning korrelatsiyalanmaydigan o'zgarishi aniqlanadi, u holda katta ishonch bilan mikrolinzalanish haqida gapirish mumkin. Shu yo'sinda SBS1520 GLS komponentlari yorqinligining mikrolinzalanish natijasida yuzaga kelgan o'zgarishi aniqlangan. Lekin buni amalga oshirish hamma vaqt ham nasib qilmaydi. Mikrolinzalanish oqibatidagi o'zgarishlar judayam kuchsiz bo'lishi mumkin. U holda bilvosita metodlarni, masalan xromatik mikrolinzalanish metodini qo'llash zarur.

Mikrolinzalanish natijasida yuzaga kelgan komponentalar yorqinligi variatsiyasi vaqti manbaning kaustikka nisbatan transversal tezligiga bog'liq. Bu tezlik uchta tashkil etuvchidan iborat: kvazar harakatidan, linzalovchi galaktikaning bir butun harakatidan va kuzatuvchining harakatidan [11]:

$$\vec{v} = \frac{\vec{v}_s}{1+z_s} - \frac{\vec{v}_d}{1+z_d} \frac{D_s}{D_d} + \frac{\vec{v}_o}{1+z_d} \frac{D_{ds}}{D_d} \quad (34)$$

bu yerda v – ko'rish nuriga perpendikulyar tezlik, z –qizilga siljish, D – masofa, d,s,o indekslar esa – odatdagiday mos ravishda linza, manbavakuzatuvchi. Bu ifodada linzalovchi galaktikadagi alohida mikrolinzalarning galaktikaning o'ziga nisbatan harakatini inobatga olmasa ham bo'ladi.

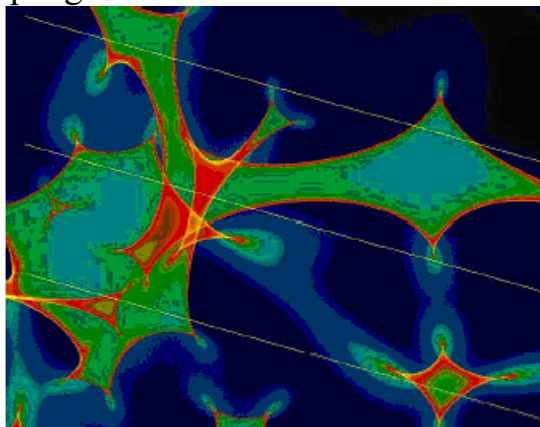
Agar mikrolinzalanish ishonchli tarzda qayt yetilgan hodisa bo'lsa, u holda manba tabiati – o'lchami va yorqinligining radial taqsimoti haqida ham, mikrolinza tabiati – massasi, zichligi, ko'ndalang tezligi haqida ham xulosa chiqarish mumkin. Ba'zi hollarda Eynshteyn Butidagi kvazar-manbaning sodda ikki komponentli, sovuq, yoyilgan qatlam bilan o'ralgan, yorqin va kompakt yadrodan iborat modeli qaralgan. Ushbu GLS yorqinlik egri chizig'i tahlili manbaning burchakli o'lchami va massasiga mos ravishda – 0.01÷0.1 pk va 0.01÷1 Ms kabi cheklov kirish imkonini berdi. Q0957+561 GLS ning ko'p yillik monitoringi 10^{-5} Ms planetar massali jismlar tomonidan vujudga keltirilgan mikrolinzalanish hodisasini aniqlashtirdi.

Shu yo'sinda, qoramtir materiya tabiati haqida ma'lumot olish mumkin. Misol uchun, halqasimon GLS MG1654+561 ning tadqiqoti jarayonida [4], massaning sirtiy zichligi radial taqsimoti $\Sigma(r) \propto r^{-q}$ ko'rinishda yaxshi ifodalanishi aniqlandi. Ko'rinma massa taqsimoti bilan empirik topilgan massa taqsimotini solishtirish linza-galaktikada yashirin massa borligini ko'rsatdi.

Mikrolinzalanishning nazariy va kuzatuv tadqiqotiga ko‘plab ishlar bag‘ishlangan [4,12]. Ushbu mavzuni davom ettirgan holda aytishimiz mumkinki, linzalangan kvazarning karrali tasviri yo‘nalishidagi massa sirtiy zichligi kritik massaga yaqindir. Shu sababli, mikrolinzalanish yetarlicha tez-tez sodir bo‘lishi zarur, agar tasvir yetarlicha simmetrik joylashgan bo‘lsa – u holda uzluksiz sodir bo‘lishi kerak. Buni quyidagicha ko‘rsatish mumkin. Agar har bir mikrolinzani uning Eynshteyn Buti radiusiga teng radiusdagi kichik disk ko‘rinishida tasavvur qilsak, bunday disklar bilan to‘silgan maydonning tanlangan soha maydoniga nisbatan kritik zichlik birligida ifodalangan massa sirtiy zichligiga mos bo‘ladi. Bu kattalikni optik chuqurlik - k deb atashadi. $k=1$ da mikrolinzalar Eynshteyn Halqasi to‘siladi va kuzatuv tekisligini butunlay yopadi.

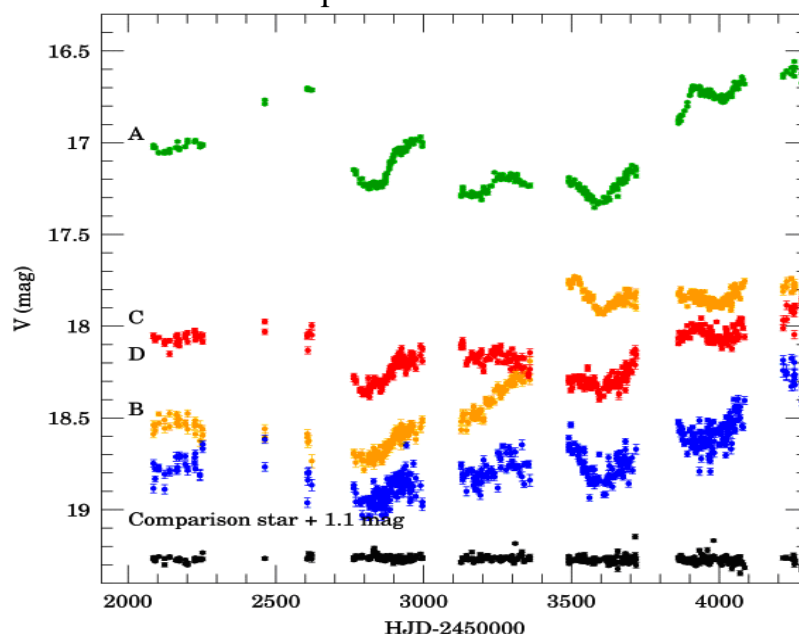
Mikrolinzalar manba tekisligida kuchayish koeffitsentlari taqsimotining murakkab ikki o‘lchamli tasvirini beradi, ya‘ni u cheksiz katta kuchayishga mos keluvchi ko‘plab kaustiklardan iborat bo‘ladi. Mikrolinzalanish natijasida ixtiyoriy manbaning kuchayishini hisoblashda yechiladigan masala murakkabdir, shuning uchun bu yerda (20) tenglamaning sonli hisoblashlari, xususan nurlarni teskari trassirovka qilish metodidan foydalaniladi. Bu metod kvadrat setkada berilgan nurlar harakatini teskari yo‘nalishda hisoblashdan iborat, ya‘ni kuzatuvchidan manba tekisligigacha gravitatsion linza orqali. Manba tekisligi bilan nurlar sistemasining kesishishidan kuchayish taqsimoti olinadi, u nuqtalar zichligiga proporsionaldir. Kuzatuvchi, GL va manbalarning o‘zaro ko‘ndalang harakati oqibatida vaqt davomida linzalangan kvazarning ko‘rinma yorqinligi o‘zgarishi mumkin. Bunday holatda mikrolinza vaziyati fiksirlangan va manbaning kuchayish kattaligi hamda uning vaziyati o‘zgarishi mo‘ljallangan kaustik tasvirga nisbatan manbaning siljishida ifodalanadi.

Mikrolinzalar sistemasi kaustik tasvirlari sonli hisoblashlariga misollar 9-rasmda keltirilgan. Kulrang rang kvazar vaziyati funksiyasi sifatida ifodalanadi – ranglar ketma-ketligi qora-kulrang-oq, kuchayish koeffitsenti ortishiga mos keladi. Bunga mos keluvchi yorqinlik egri chizig‘i 10-rasmda keltirilgan. Ular manba yorqin ranglar bo‘ylab harakatlanadigan hol uchun, ya‘ni mikrolinzalarning turli xil vaziyatlari realizatsiyasi uchunchizilgan (9-rasm). Rasmdan ko‘rinib turibdiki, manbaning o‘lchami qancha katta bo‘lsa, yorqinlik egri chizig‘i shuncha “silliqlangan”.



9-rasm. Linzalovchi galaktikadagi zich yulduzlar maydoni ta'sirida beriladigan manba tekisligidagi kuchayish taqsimoti tasviri. Mikrolinzalar parmatrlari Q2237+0305GLS ning massa sirtiy zichligi $k=0.36$ bo'lgan – A komponentasi modeliga mos holda tanlangan [4].

GLS larning real obyektlarida kuzatuv va mikrolinzalanishni o'rganish nuqtai nazaridan, nomdor bo'lgan obyektlardan Q2237 hisoblanadi. Bu sistema linzalangan kvazarning, yetarlicha yaqin joylashgan spiral galaktika fonidagi to'rtta tasvirini o'zida ifodalaydi. Linza markaziga nisbatan komponentlarning yuqori simmetriyada joylashuvi tufayli, komponentlar orasidagi kechikish vaqti bir necha yoki o'nlab soatlarni tashkil qiladi.



10-rasm. Q2237+0305 GLS sining OGLE monitoring dasturi doirasidagi 7 yillik kuzatuv natijalari bo'yicha to'rtta komponentasining yorqinlik egri chiziqlari [13].

Shuning uchun komponentalar yorqinligidagi hohlagan korrelatsiyalanmaydigan birmuncha uzoq vaqt qatorlarida o'zgarishlarini mikrolinzalanish effekti oqibatida yuzaga kelgan deb taxmin qilish mumkin. Q2237GLC komponentlarining yorqinliklari o'zgarishlari, u ochilganidan beri deyarli uzluksiz ravishda davom etmoqda. 10-rasmda ushbu sistemaning to'rtta komponentasining OGLE dasturi doirasidagi taxminan 6 yillik kuzatuv davri uchun yorqinlik egri chizig'i ko'rsatilgan [13]. Bu o'zgarishlar katta ehtimollik bilan asosan nurlarning galaktika-linza qatlamlaridan o'tgandagi mikrolinzalanishidan yuzaga kelgan.

Nazorat savollari:

1. Gravitatsion linza sinish burchagi qanaqa kattaliklarga bog'lik? To'lqin uzunligiga bog'lanish bormi?

2. Shvarsshild radiusi nima?
3. Mikrolinzalani shda sinish burchagi nimaga teng bo'ladi?
4. Gravitatsion linzalangan sistyemalar qanaqa topiladi?
5. Kechikish vaqti uchun Shariro fomulasi qanaqa yoziladi?
6. Gravitatsion linzalangan sistemalarda kechikish vaqtining mohiyaim nimada?
7. Qanaqa shartlar bajarilsa Eynshteyn xalqasi paydo bo'ladi?
8. Koinotni o'rganishda gravitatsion linzalar qanaqa o'ringa ega?
9. Izotermik modellarda qanaqa parametrlar inobatga olinadi?
10. Kechikish vaqti qanaqa usullar bilan aniqlanishi mumkin?

Foydalanilgan adabiyotlar

7. Blix P. V., Minakov A.A. Gravitatsionniye linzi. – K.: Naukova dumka, 1989. – 239 s.
8. Narayan R., Bartelmann M. Lectures on Gravitational Lensing // proceedings of the 1995 Jerusalem Winter School. – Jerusalem (Israel). – 1995. – 66 p.
9. Refsdal S., Surdej J. Gravitational Lenses / Rep. prog. phys. – 1994. – Vol. 56. – p. 117–185
10. Wambsganss J. Gravitational Lensing in Astronomy // Max-planck-Institute: Living rev. in Reativity 1, 1998. – 74 p.
11. Schechter p.L., Bailyn C.D., et al. The Quadruple Gravitational Lens pG 1115+080: Time Delays and Models // Astrophys. J., 1997, v. 485, p. 85(L).
12. Haarsma D., Hewitt J., et al. The Radio Wavelength Time Delay of Gravitational Lens 0957+561 // ApJ, 1999, v. 510, p. 64
13. Goicoechea L. J. Multiple delays in QSO 0957+561: observational evidence and interpretation // MNRAS, 2002, v. 334, p. 905
14. Lehar J., Hewitt, J. N. et al. The radio time delay in the double quasar 0957 + 561 // ApJ, 1992, v. 384, p. 453 (L)
15. Pelt J., Hoff W., et al. Time delay controversy on QSO 0957+561 not yet decided // A&A, 1994, v. 286, p. 775
16. Pelt J., Kayser R., et al. The light curve and the time delay of QSO 0957+561 // A&A, 1996, v. 305, p. 97
17. Kayser R., Refsdal, S., Stabell, R. Astrophysical applications of gravitational microlensing // Astron. Astrophys, 1986, v. 166, No 1–2, p.36.
18. Wambsganss J., Paczynski B. Expected color variations of the gravitationally microlensed QSO2237+0305 // Astron. J., 1991. v. 102, p.864
19. OGLE: <http://bulge.princeton.edu/~ogle/>
20. Hazard C., Morton D.C., Terlevich R., McMahon R. // Nine new quasi-stellar objects with broad absorption lines // Astrophysical Journal, part 1 (ISSN 0004-637X), vol. 282, July 1, 1984, p. 33-52

Internet ma'lumotlari

1. http://hea.iki.rssi.ru/HEAD_RUS/links_k.htm
2. <https://books.google.com/books?isbn=0226069710>
3. <https://books.google.com/books?isbn=0226724573>

V. AMALIY MASHG‘ULOT MATERIALLARI

1-Amaliy mashg‘ulot.

Koinot tuzilishi buyicha zamonaviy kuzatuv ma’lumotlar. Galaktikadan tashqari masofalar shkalasi

Koinot xaqida fanning oxirgi yillarda erishilgan yutuqlari tahlili. Galaktikadan tashqari obyektlar va ularning turlari, ularni kuzatish va o‘rganish usullari va muammolari. Ko‘p to‘lqinli kuzatuvlar tahlili. Berilgan qizilga siljish uchun kosmologik masofani hisoblash. Kosmologik bshliqlar. Ularning Koinot tuzilishidagi o‘rni. Syunyayev-Zeldovich effekti.

Nazorat savollari

1. Koinot tezlanish bilan kengayishi qanday qilib topildi?
2. Bunda nega aynan o‘ta yangi yulduzlar tanlangan deb o‘ylaysiz?
3. Bu holda Xabbl doimisiga tahsir etadimi? Bu kattalik haqiqatdan doimiy bo‘lib qolaveradimi yoki biron bir kattalikga bog‘lagan bo‘ladimi (masalan masofaga)?
4. Tezlanish bilan kengayotgan Koinotda qora energiya va qora moddaning roli qanday?

2-Amaliy mashg‘ulot.

PZS tasvirlar ko‘rinishidagi kuzatuv ma’lumotlarning dastlabki tahlili

Maydanak observatoriyasida olib borilgan kuzatuvlar natijalari, ya’ni tanlangan gravitatsion linzalangan tasvirlarning fotometrik tahlilining birinchi bosqichini bajarish. Tasvirlarning elektron shovqinini hisoblash, tekis maydonga normallashtirish, yagona koordinatalar sistemasiga keltirish, bir kunda olingan tasvirlarni birlashtirish.

Nazorat savollari

1. PZS tasvirlarda qanaqa turdagi shovqinlar mavjud?
2. Elektron shovqinlarni qaysi yo‘l bilan minimallashtirsa bo‘ladi?
3. Birlamchi tahlilning bosqichlari qanaqa?
4. Tekis maydon tasvrlari qanaqa yo‘l bilan olinadi?
5. Tasvirlarni bitta koordinatalar sistemaga nimaga keltiriladi?
6. Tasvirlarni birlashtirib, bitta o‘rtachalashtirilgan tasvirni hosil qilishning ma’nosi nimada?

3-Amaliy mashg‘ulot.

Tanlangan GLS larning fotometrik tahlili

Tanlangan gravitatsion linzalangan sistemaning tasvirlarini fotometrik tahlil etish. Apertura va NYOF fotometriyasi. IRAF dasturlar paketi bilan ishlash. GALFIT fotometrik dasturi. Nuqtasimon manbalar tasvirlarida ravshanlik taqimoti: Gauss (normal), Moffat, raqamli modeli. Linzalangan komponentalarining koordinatalarini topish.

Nazorat savollari

1. Apertura fotometriya usulining boshqa usullarga nisbatan avzalligi nimada? Kamchiligi-chi?
2. NYOF usuli qanaqa yaqindashishga asoslangan?
3. Fotometrik tahlilni bajarish uchun qanaqa standart dasturlarni bilasiz?
4. Nimaga zich maydonlarda apertura usulidan foydalanib bo'lmaydi?
5. Komponentalarning astrometrik o'lchash natijalaridan foydalanib, ularning PZS tasvirdagi koordinatalari qanday topiladi?

4-Amaliy mashg'ulot.

Ravshanlik egri chizig'ini tahlil etish.

Fotometrik qayta ishlash natijalarining tahlili. Maydondagi yulduzlar orasidan fotometrik tayanch obyektlarni tanlash. Ravshanlik egri chiziqlarini chizish. Ravshanlik o'zgarishlarining amplitudasini topish. Mikrolinzalanish hodisalarini aniqlash. Bunda ikki rangli ravshanlik egri chiziqlarini qo'llash.

Nazorat savollari

1. PZS tasvirda tayanch fotometrik yulduz qanday topiladi?
2. Unix operatsion sistemasida qanaqa grafik redaktorlari bilan ravshanlik egri chizig'ini chizsa bo'ladi?
3. Gnuplot dasturida kuzatuv nuqtalarning rangi va shakli qanday boshqariladi?
4. Bitta grafikda bir nechta egri chiziqlar chizish uchun nima qilish kerak?

5-Amaliy mashg'ulot.

Gravitatsion linzalangan sistemalarda kechikish vaqtini topish

Kechikish vaqtini topish bo'yicha qo'llaniladigan usullar bilan tanishish: xi-kvadrat usuli, dispersion usuli, Pelt formulalari, interpolyatsiya yondoshish formulalar. Elementar hol uchun dastlabki hisob kitobni bajarish.

Nazorat savollari

1. Kechikish vaqti qanaqa kattalik? Gravitatsion linzalangan sistemalardan tashqari u qayerda yana uchraydi?
2. Xi-kvadrat usulining mohiyati nimada?
3. Kechikish vaqtini hisoblashda mikrolinzalanish yordam beradimi?
4. Mikrolinzalanishni qanday qilib inobatga olsa bo'ladi?

V. KEYSLAR BANKI

Mini-keys 1.

«Ekspert kengashi: intilish va yuksalish?»

Tinglovchilarni bilimni baholashda ularni bilishi talab etilgan meyor darajasida sinov o'tkaziladi. Materiallarni yaxshi o'zlashtirgan tinglovchilar baholangan so'ng odatda erishgan bilimlari doirasida to'xtab qoladi va qo'shimcha bilinishi yuksaltirishga intilmaydi. Materiallarni yaxshi o'zlashtirmagan tinglovchilar baholash sinovidan ozod qilishlarini hohlaydi va unga intiladilar, ammo bilimi tiklash intilmaydilar.

Nega bunday vaziyat kuzatiladi? Buni bartaraf etish uchun o'zingizning taklifingizni bering.

Mini-keys 2.

«Tanlangan gravitatsion linzalangan sistemalarda kechikish vaqtini hisoblash»

H1413+117, SBS1520+530 va boshqa gravitatsion linzalangan sistemalardagi komponentalar orasiagi kechikish vaqtini hisoblash asosida ko'p sonli natijalar orasida eng katta ehtimoliga ega bo'lgan qiymatini topish yetarlicha muammolarni tug'diradi. Uning uchun qo'shimcha tahlil bosqichlaridan o'tkazish kerak bo'ladi, masalan, ko'p sonli sun'iy ravshanlik egri chiziqlarini hosil qilish kerak bo'ladi. Shunda, berilgan GLS konfiguratsiyasi va nisbiy ravshanliglariga bog'liq holda turli ehtimolliklarga ega bo'lgan kechikish vaqti qiymatlari kelib chiqadi. Ular orasidan eng ishonarlilisini topish uchun barcha kechikish vaqti qiymatlari orasida eng ko'p uchraydigani topiladi va shu kattalik ehtimolligi eng katta qiymat deb olinadi.

Nega kechikish vaqtini hisoblash muammosi yetarli darajada murakkab masala? Pelt usuli xi-kvadrat usulidan nima bilan farq qiladi? Pelt usulida «oyna kengligi» δ qanaqa bo'lishi kerak?

Mini-keys 3

«Nega koinotning dastlabki davrlarida u yorug' bo'lgan, xozirda esa biz qorong'i koinotni kuzatib turibmiz?»

Ma'lumki Koinotdagi nurlanish zichligi koinot kengayishi bilan uning o'lchamlarining 4-darajasiga teskari proporsional ravishda kamayib boradi. Moddaning zichligi esa koinot o'lchamlarining 3-darajasiga teskari proporsional ravishda kamayib boradi. Moddaning zichligi nurlanishning zichligiga nisbatan sekinroq kamaygani uchun, dastlabki paytda katta zichlikka ega bo'lgan yorug'lik tez orada moddaning zichligidan kamroq bo'lib qoladi.

Ushbu xodisani tushuntirish uchun siz ham o'zingizning fikrlaringizni bildiring. Nega yorug'lik zichligi tez kamayadi va koinot rivojlanishining dastlabki davrida modda zichligidan ko'ra katta zichlikka ega bo'lgan?

Asosiy keysni ishlab chiqish.

Har bir guruh minikeyslarni ishlab chiqishda asosiy keysni yechimini topish bo'yicha erishgan bilimlari bo'yicha o'zining taklifini beradi. Buning natijasida u yoki bu qaror qabul qilinadi yoki xulosaga kelinadi.

«Refleksiya savati»

Tinglovchilar sinf-ustasini ishini baholaydi. O'zining taqrizini maxsus savatga solishadi.

Keys o'tkazish bo'yicha umumiy xulosa qiling (assessment).



VI. MUSTAQIL TA'LIM MAVZULARI

Mustaqil ishni tashkil etishning shakli va mazmuni

Tinglovchi mustaqil ishni muayyan modulni xususiyatlarini hisobga olgan xolda quyidagi shakllardan foydalanib tayyorlashi tavsiya etiladi:

- meyoriy xujjatlardan, o'quv va ilmiy adabiyotlardan foydalanish asosida modul mavzularini o'rganish;

- tarqatma materiallar bo'yicha ma'ruzalar qismini o'zlashtirish;

- avtomatlashtirilgan o'rgatuvchi va nazorat qiluvchi dasturlar bilan ishlash;

- maxsus adabiyotlar bo'yicha modul bo'limlari yoki mavzulari ustida ishlash;

-tinglovchining kasbiy faoliyati bilan bog'liq bo'lgan modul bo'limlari va mavzularni chuqur o'rganish.

Mustaqil ta'lim mavzulari

1. Fundamental o'zaro ta'sir nazariyalarning kashf etilish tarixi.
2. Koinotning yopiq, ochiq va yassi modellari.
3. Yulduzlardagi reaksiyalarning kesimlari.
4. Yulduzlar klassifikatsiyasi va kataloglari.
5. Gravitatsion linza sistemalari.
6. Pulsarlar va magnetarlar.
7. Kosmologiyada magnit maydonlar.
8. Galaktikadan tashqari obyektlarni radio diapazondagi tadiiioi natijalari
9. Kuchli linzalanish va mikrolinzalanish
10. Kaustik va kritik chiziilar

VII. GLOSSARIY

Termin	O‘zbek tilidagi sharxi	Ingliz tilidagi sharxi
kosmologik doimiy	Gravitatsion maydonga ega bo‘lmagan fazoning egriligini o‘lchovchi doimiy	A constant that measures the curvature of an empty space devoid of gravitational fields.
kosmologik model	Enshteyn tenglamasining yechimi bo‘lib, u Koinot geometriyasi evolyusiyasi va katta masshtabli materiyasini ta’riflashda qo‘llaniladi.	A solution of Einstein’s equations that can be used to describe the geometry and large-scale evolution of matter in the universe.
Bozon	butun sonli spinga ega bo‘lgan zarracha	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</u> physicist <u>Satendra 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.
kosmologiya	Butun Koinotni yagona fizik sistema sifatida o‘rganuvchi fan	The science that investigates the whole universe as a single physical system.
Galaktika	yulduzlar, yulduz turkumlari, yulduzlararo gaz va chang, xamda qorong‘i moddadan iborat gravitatsion bog‘langan tizim	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.
kritik zichlik	Barcha bo‘linishlarni to‘xtatish uchun zarur bo‘ladigan kosmologik zichlik	The cosmological density which is just sufficient to eventually halt the universal expansion.
qora energiya	Energiyaning noma’lum shakli bo‘lib, gipotetik ravishda fazoning istalgan joyidan o‘ta oluvchi va Koinotni kengaytirishga intiladi	An unknown form of energy which is hypothesized to permeate all of space, tending to accelerate the expansion of the universe

qora materiya	Teleskopda kuzatishning imkoni yo‘q va elektromagnit spektrida nurlanmaydigan materiya komponenti	Matter component that does not radiate in the electromagnetic spectrum and, therefore, is not detected by means of telescopes.
Dopler effekti	nurlanish manbasi va/yoki kuzatuvchi (qabul qilgichning) o‘zaro harakati tufalyi kuzatuvchi yoki qabul qilgich qayd etadigan chastota yoki to‘lqin uzunligininng o‘zgarishi	the change in frequency or wavelength of a wave (or other periodic event) for an observer moving relative to its source.
Kvazar	uzoqlashgan gallaktikaning faol o‘zagidan iborat bo‘lgan qudratli kosmik elektromagnit nurlanish manbai.	Quasars or quasi-stellar radio sources are the most energetic and distant members of a class of objects called active galactic nuclei (AGN). Quasars are extremely luminous and were first identified as being high redshift sources of electromagnetic energy , including radio waves and visible light , that appeared to be similar to stars , rather than extended sources similar to galaxies . Their spectra contain very broad emission lines , unlike any known from stars, hence the name "quasi-stellar."
Eynshteyn tenglamasi	Fazo-vaqtda materiya taqsimotini bog‘lovchi metrika bo‘lib, u bir necha differensial tenglamalardan tashkil topgan	The set of differential equations that connect the metric to the distribution of matter in the spacetime
Koinot	moddiy dunyoning kuzatish mumkin bo‘lgan qismi.	part of the material world that can be observed. The Universe is all of time and space and its contents. The Universe includes planets , natural satellites , minor planets , stars , galaxies , the contents of intergalactic space , the smallest subatomic particles , and all matter and energy . The observable universe is about 28 billion parsecs (91 billion light-years) in diameter at the present time . The size of the whole Universe is not known and may be either finite or infinite.
Evoluyon trek	Yulduzning Gersshprung-Rassel diagrammasidagi	The path of a star in the the Hertzsprung–Russell (HR) diagram

	evolyusiya natijasida bosib o'tadigan yo'li	as those physical parameters change
Kosmik radionurlanish	kosmik obektlarning radioto'lqinlar sohasida elektromagnit nurlanishi.	Space objects in the field of radio electromagnetic radiation. Radio waves are a type of electromagnetic radiation with wavelengths in the electromagnetic spectrum longer than infrared light. Radio waves have frequencies from 3 THz to as low as 3 kHz , and corresponding wavelengths ranging from 100 micrometers (0.0039 in) to 100 kilometers (62 mi). Like all other electromagnetic waves, they travel at the speed of light . Naturally occurring radio waves are made by lightning , or by astronomical objects .
Kuchli ta'sir o'zaro	bir nechta femtometrda (10^{-15} m) kichik masofalarda adronlar orasidagi o'zaro ta'sir. Xususan, atom yadrolaridagi nuklonlarning o'zaro bog'lanishini ta'minlaydi.	In particle physics , the strong interaction is the mechanism responsible for the strong nuclear force (also called the strong force , nuclear strong force), one of the four known fundamental interactions of nature, the others being electromagnetism , the weak interaction and gravitation . Despite only operating at a distance of a femtometer , it is the strongest force, being approximately 100 times stronger than electromagnetism, a million times stronger than weak interaction and 10^{38} times stronger than gravitation at that range.
Ferma prinsipi	Yorug'lik nuri fazodagi ikki nuqta orasida shunday yo'l bo'yicha tarqaladiki, yorug'lik bu yo'lni o'tishi uchun shu nuqtalarni tutashtiruvchi boshqa yollarga nisbatan yoki eng kam yoki eng ko'p, yoxud bir xil vaqt sarf qiladi	A ray of light or other radiation follows the path that requires the least time to travel from one point to another, including reflections and refractions that may occur
tekis koinot	Zichligi kritik zichlikka to'g'ri keluvchi Koinot modeli	A model of the universe in which the average density is exactly equal to the critical density at which it neither expands freely nor collapses again.

<p>Myuonlar</p>	<p>massasi elektron massasidan taqriban 207 marta katta va elektromagnit hamda kuchsiz o'zaro ta'sirlarda ishtirok etuvchi zaryadlangan elementar zarralar.</p>	<p>The muon is an elementary particle similar to the electron, with electric charge of $-1 e$ and a spin of $\frac{1}{2}$, but with a much greater mass. It is classified as a lepton. As is the case with other leptons, the muon is not believed to have any sub-structure—that is, it is not thought to be composed of any simpler particles. The muon is an unstable subatomic particle with a mean lifetime of 2.2 μs. Among all known unstable subatomic particles, only the neutron (lasting around 15 minutes) and some atomic nuclei have a longer decay lifetime; others decay significantly faster.</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 compact star. Neutron stars are the smallest and densest stars known to exist in the Universe. 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 gravitational collapse of a massive star that produces a supernova. Neutron stars are composed almost entirely of neutrons, which are subatomic particles with no net electrical charge and with slightly larger mass than protons. They are supported against further collapse by quantum degeneracy pressure due to the phenomenon described by the pauli exclusion principle.</p>
<p>Nukleosintez</p>	<p>yengilroq yadrolardan og'irroq yadrolar hosil bo'lishiga olib keluvchi yadroviy reaksiyalar zanjiri.</p>	<p>Nucleosynthesis is the process that creates new atomic nuclei from pre-existing nucleons, primarily protons and neutrons. The first nuclei were formed about three minutes after the Big Bang, through the process called Big Bang nucleosynthesis. It was then that hydrogen and helium formed to become the content of the</p>

		<p>first stars, and this primeval process is responsible for the present hydrogen/helium ratio of the cosmos. With the formation of stars, heavier nuclei were created from hydrogen and helium by stellar nucleosynthesis, a process that continues today.</p>
<p>Oq mittilar</p>	<p>massalari Quyosh massasi tarkibida bo'lgan va radiuslari Quyosh radiusining $\sim 0,01$ hissasini tashkil qiluvchi kichik yulduzlar.</p>	<p>A white dwarf, also called a degenerate dwarf, is a stellar remnant composed mostly of electron-degenerate matter. A white dwarf is very dense: its mass is comparable to that of the Sun, while its volume is comparable to that of Earth. A white dwarf's faint luminosity comes from the emission of stored thermal energy; no fusion takes place in a white dwarf wherein mass is converted to energy. The nearest known white dwarf is Sirius B, at 8.6 light years, the smaller component of the Sirius binary star. There are currently thought to be eight white dwarfs among the hundred star systems nearest the Sun.^[1] The unusual faintness of white dwarfs was first recognized in 1910. The name <i>white dwarf</i> was coined by Willem Luyten in 1922. The universe has not been alive long enough to experience a white dwarf releasing all of its energy as it will take close to a trillion years.</p>
<p>Parsek</p>	<p>astronomiyada ishlatiladigan uzunlik birligi; $1\text{pk} = 3,0857 \cdot 10^{16}$ m.</p>	<p>A parsec (symbol: pc) is a unit of length used to measure large distances to objects outside the Solar System. One parsec is the distance at which one astronomical unit subtends an angle of one arcsecond.^[1] A parsec is equal to about 3.26 light-years (31 trillion kilometres or 19 trillion miles) in length. The nearest star, proxima Centauri, is about 1.3 parsecs (4.24 light-years) from the Sun. Most of the stars visible to the unaided eye in the nighttime sky are within 500 parsecs</p>

		of the Sun.
Xabbl doimiysi	ko‘rinuvchi Koinotning kosmologik kengayishi tufayli gallaktikadan tashqari obektlarning uzoqlashishi tezliklari bilan ulargacha bo‘lgan masofalar orasidagi bog‘lanishlardagi mutanosiblik koeffitsiyenti.	The value of the Hubble constant is estimated by measuring the redshift of distant galaxies and then determining the distances to the same galaxies (by some other method than Hubble's law). Uncertainties in the physical assumptions used to determine these distances have caused varying estimates of the Hubble constant. The value of the Hubble constant was the topic of a long and rather bitter controversy between Gérard de Vaucouleurs , who claimed the value was around 100, and Allan Sandage , who claimed the value was near 50. In 1996, a debate moderated by John Bahcall between Sidney van den Bergh and Gustav Tammann was held in similar fashion to the earlier Shapley-Curtis debate over these two competing values.
Yulduzlar	gravitatsiya kuchlarining issiq modda (gaz) ning bosimi hamda nurlanishlar bilan muvozanati xisobiga barqaror bo‘lgan ulkan nurlanuvchi plazmaviy sharlar.	A star is a luminous sphere of plasma held together by its own gravity . The nearest star to Earth is the Sun . Other stars are visible to the naked eye from Earth during the night, appearing as a multitude of fixed luminous points in the sky due to their immense distance from Earth. Historically, the most prominent stars were grouped into constellations and asterisms , the brightest of which gained proper names. Extensive catalogues of stars have been assembled by astronomers, which provide standardized star designations . For at least a portion of its life, a star shines due to thermonuclear fusion of hydrogen into helium in its core, releasing energy that traverses the star's interior and then radiates into outer space .
Yadroviy astrofizika	yulduzlar va boshqa samoviy obektlarda sodir bo‘luvchi barcha yadroviy jarayonlarni tadqiq qiluvchi fan.	Nuclear astrophysics is an interdisciplinary branch of physics involving close collaboration among researchers in various subfields of nuclear physics and astrophysics ,

		<p>with significant emphasis in areas such as stellar modeling, measurement and theoretical estimation of nuclear reaction rates, cosmology, cosmochemistry, gamma ray, optical and X-ray astronomy, and extending our knowledge about nuclear lifetimes and masses. In general terms, nuclear astrophysics aims to understand the origin of the chemical elements and the energy generation in stars.</p>
<p>Qora o'ra</p>	<p>gravitatsiya kuchlari jismni uning gravitatsiyaviy radiusidan kichikroq o'lchamlargacha siqilishi natijasida yuzaga keluvchi kosmik obyekt.</p>	<p>A black hole is a region of spacetime exhibiting such strong gravitational effects that nothing—including particles and electromagnetic radiation such as light—can escape from inside it. The theory of general relativity predicts that a sufficiently compact mass can deform spacetime to form a black hole. The boundary of the region from which no escape is possible is called the event horizon.</p>

VIII. ADABIYOTLAR RO'YXATI:

1. Carroll B.W., Ostlie D.A. An introduction to modern astrophysics. Pearson International Edition, 2006, ISBN-13: 978-0805304022
2. James B. Hartle, Gravity: An Introduction to Einstein's General Relativity, Pearson Education Ltd., 2013, 554 p.
3. T. Padmanabhan, Theoretical Astrophysics, Volume I-III, Cambridge University Press, 2010.
4. Povh, K.Rith, C.Scholz, F. Zetsche, Particles and nuclei. An introduction to the physical concepts. Springer, 2006.
5. Filchenkov M.L., Gravitatsiya, astrofizika, kosmologiya: dopolnitelniye glavi, «LIBROKOM», 2010.
6. Arnab Rai Choudhuri, Astrophysics for Physics, Cambridge University Press, 2010, 471 p.
7. Max Camenzind, Compact Objects in Astrophysics, Springer, 2007, 682 p.
8. T. Padmanabhan, Theoretical Astrophysics, Volume I-III, Cambridge University Press, 2010.
9. Povh, K.Rith, C.Scholz, F. Zetsche, Particles and nuclei. An introduction to the physical concepts. Springer, 2006.
- 10.Bochkarev N.G.b Magnitniye polya v kosmose, M.: Knijniy dom «LIBROKOM», 2011. – 216 s.
11. Peterson B.M. // Variability of active galactic nuclei // astro-ph/0109495
12. T.A.Axunov // Kvazarlar va faol galaktikalar // Ma'ruzalar matni (electron varianti)
13. Alloin D., Johnson R., Lira P. // Physics of Galactic Nuclei at all Scales // Lect. Notes Phys., 693 p., Springer, 2006
14. Blandford R.D., Netzer H., Woltjer L. // Active Galactic Nuclei // Saas-Fee Advanced Course, Lecture Notes, Swiss Society for Astrophysics and Astronomy, 1990
15. Surdin V.G. Galaktiki, M.: FIZMATLIT, 2013
16. Windhorst, R. A., et al. 2002, ApJS, 143, 113
17. Bliox P. V., Minakov A.A. Gravitatsionniye linzi. – K.: Naukova dumka, 1989. – 239 s.
18. Narayan R., Bartelmann M. Lectures on Gravitational Lensing // Proceedings of the 1995 Jerusalem Winter School. – Jerusalem (Israel). – 1995. – 66 p.
19. Refsdal S., Surdej J. Gravitational Lenses / Rep. Prog. Phys. – 1994. – Vol. 56. – P. 117–185
20. Wambsganss J. Gravitational Lensing in Astronomy // Max-Planck-Institute: Living rev. in Reativity 1, 1998. – 74 p.
21. Schechter P.L., Bailyn C.D., et al. The Quadruple Gravitational Lens PG 1115+080: Time Delays and Models // Astrophys. J., 1997, v. 485, p. 85(L).

22. Haarsma D., Hewitt J., et al. The Radio Wavelength Time Delay of Gravitational Lens 0957+561 // ApJ, 1999, v. 510, p. 64
23. Goicoechea L. J. Multiple delays in QSO 0957+561: observational evidence and interpretation // MNRAS, 2002, v. 334, p. 905
24. Lehar J., Hewitt, J. N. et al. The radio time delay in the double quasar 0957 + 561 // ApJ, 1992, v. 384, p. 453 (L)
25. Pelt J., Hoff W., et al. Time delay controversy on QSO 0957+561 not yet decided // A&A, 1994, v. 286, p. 775
26. Pelt J., Kayser R., et al. The light curve and the time delay of QSO 0957+561 // A&A, 1996, v. 305, p. 97
27. Kayser R., Refsdal, S., Stabell, R. Astrophysical applications of gravitational microlensing // Astron. Astrophys, 1986, v. 166, No 1–2, p.36.
28. Wambsganss J., Paczynski B. Expected color variations of the gravitationally microlensed QSO2237+0305 // Astron. J., 1991. v. 102, p.864
29. OGLE: <http://bulge.princeton.edu/~ogle/>
30. Hazard C., Morton D.C., Terlevich R., McMahon R. // Nine new quasi-stellar objects with broad absorption lines // Astrophysical Journal, Part 1 (ISSN 0004-637X), vol. 282, July 1, 1984, p. 33-52

Internet ma'lumotlari

1. http://hea.iki.rssi.ru/HEAD_RUS/links_k.htm
2. <https://books.google.com/books?isbn=0226069710>
3. <https://books.google.com/books?isbn=0226724573>
4. [https:// nuclphys.sinp.msu.ru/](https://nuclphys.sinp.msu.ru/)