



**O'ZBEKISTON MILLIY UNIVERSITETI
HUZURIDAGI PEDAGOG KADRLARNI
QAYTA TAYYORLASH VA ULARNING
MALAKASINI OSHIRISH TARMOQ
(MINTAQAVIY) MARKAZI**

**ZAMONAVIY ASTROFIZIKADA
YULDUZLARNING TURLARI
VA ULARNING EVOLUTSION
BOSQICHLARINI O'RGANISH**

**MODULI BO'YICHA
O'QUV – USLUBIY
MAJMUUA**

2025

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

**OLIY TA’LIM TIZIMI KADRLARINI QAYTA
TAYYORLASH VA MALAKASINI OSHIRISH INSTITUTI**

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

**“Zamonaviy astrofizikada yulduzlarning turlari
va ularning evolutsion bosqichlarini o‘rganish”**

MODULI BO‘YICHA

O‘QUV–USLUBIY MAJMUA

Toshkent-2025

Mazkur modulning o‘quv-uslubiy majmuasi Oliy ta’lim, fan va innovatsiyalar vazirligining 2024-yil “27” dekabrda 485-sonli buyrug‘i bilan tasdiqlangan o‘quv reja va namunaviy dastur asosida tayyorlandi.

Tuzuvchilar: f.-m.f.d, akademik Axmedov B.J., f.-m.f.n., O.G’.Rahimov

Taqrizchi: Milliy tadqiqotlar universiteti “Fizika va kimyo” kafedrasini mudiri, f.-m.f.n. Sapayev Ibrohim Bayrammurodovich

O‘quv-uslubiy majmua Mirzo Ulug‘bek nomidagi O‘zbekiston Milliy universiteti Kengashining qarori bilan nashrga tavsiya qilingan (2024- yil “29” noyabrda 4-sonli bayonnoma).

MUNDARIJA

I. ISHCHI DASTUR	5
II. MODULNI O‘QITISHDA FOYDALANILADIGAN INTERFAOL TA’LIM METODLARI.....	9
III. NAZARIY MASHG‘ULOT MATERIALLARI	13
IV. AMALIY MASHG‘ULOT MATERIALLARI	38
V. KEYSLAR BANKI.....	51
VI. MUSTAQIL TA’LIM MAVZULARI	53
VII. GLOSSARIY	54
VIII. ADABIYOTLAR RO‘YXATI.....	68

I. ISHCHI DASTUR

KIRISH

Dastur O‘zbekiston Respublikasining 2020-yil 23-sentabrda tasdiqlangan “Ta’lim to‘g‘risida”gi Qonuni, O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2020-yil 3-dekabrda “Iqtidorli yoshlarni saralab olish tizimi va akademik litseylar faoliyatini takomillashtirish chora-tadbirlari to‘g‘risida”gi PQ-4910-son hamda Vazirlar Mahkamasining 2022-yil 1-iyundagi “Akademik litseylar rahbar va pedagog xodimlarining uzduksiz malakasini oshirish tizimini joriy etish to‘g‘risida”gi 296-son Qarorlarida belgilangan ustuvor yo‘nalishlar mazmunidan kelib chiqqan holda tuzilgan bo‘lib, u zamonaviy talablar asosida malaka oshirish jarayonlarining mazmunini takomillashtirish hamda akademik litseylar pedagog xodimlarining kasbiy kompetentligini muntazam oshirib borishni maqsad qiladi.

Dastur doirasida berilayotgan tayanch modullari mavzulari orqali akademik litseylarda faoliyat olib borayotgan pedagog xodimlarning koinot to‘g‘risidagi tasavvurlarning paydo bo‘lishi va rivojlanishining o‘ziga xos xususiyatlarini tahlil etish va baholash, yulduzlar evolyutsiyasi nazariyasini o‘zlashtirish, kompakt ob’ektlar, qora tuynuklar, neytron yulduzlar va oq mittilarning kelib chiqishi va o‘zaro bog‘likligini yoritib berish darajasini oshirish hisobiga ularning pedagogik mahorat va kasbiy kompetentligini muntazam takomillashtirish bilan birgalikda pedagog xodimlarning ehtiyojlari asosida tanlab olingan tanlov modullari bo‘yicha bilim, ko‘nikma va malakalarga ega bo‘lishlari ta‘minlanadi.

Modulning maqsadi va vazifalari

Modulning **maqsadi** pedagog kadrlarning o‘quv-tarbiyaviy jarayonlarini yuqori ilmiy-metodik darajada ta‘minlashlari uchun zarur bo‘ladigan kasbiy bilim, ko‘nikma va malakalarini muntazam yangilash, kasbiy kompetentligi va pedagogik mahoratining uzluksiz rivojlanishini ta‘minlashdan iborat.

Modulning vazifalari

-pedagog xodimlarning kasbiy bilim, ko‘nikma, malakalarini uzluksiz yangilash va rivojlantirish;

-pedagoglarning zamonaviy talablarga mos holda akademik litseylardagi o‘qitish sifati va samaradorligini ta‘minlash uchun zarur bo‘lgan kasbiy mahorat darajasini oshirish;

-o‘qitishning innovatsion texnologiyalari va ilg‘or xorijiy tajribalarni o‘zlashtirish hamda ulardan o‘quv jarayonida samarali foydalanish ko‘nikmalarini shakllantirish;

-o‘quv jarayonini ilm-fan va ishlab chiqarish bilan samarali integratsiyasini ta’minlashga qaratilgan faoliyatni tashkil etish.

Modul bo‘yicha tinglovchilarning bilimi, ko‘nikma va malakalariga qo‘yiladigan talablar

“Fizika va astronomiyani” modulini o‘zlashtirish jarayonida amalga oshiriladigan masalalar doirasida:

Tinglovchi:

- quyosh tizimini paydo bo‘lishini;
- koinot to‘g‘risidagi tasavvurlarini;
- olamning rivojlanishidagi hal qiluvchi bosqichlarini;
- zamonaviy kosmologiya modellarini;
- so‘nggi yillardagi kosmologiyadagi aniqlangan fundamental qonuniyatlarini;
- yulduzlar evolyutsiyasini;
- yulduzlarni kuzatish va ularning imkoniyatlarini;
- yangi yulduzning tug‘ilishini;
- kompakt ob’ektlarning turlari va ularni kuzatish imkoniyatlarini;
- kompakt obyektlarning shakllanish bosqichlarini;
- yulduzlarda moddalarining shakllanishi va ularning koinot bo‘ylab taqsimlanishini ***bilishi*** kerak.

Tinglovchi:

- kosmologiyadagi kashfiyotlar va tamoyillarini tahlil etish;
- hozirgi zamon eksperiment va astronomik kuzatuvlardan koinotning yirik masshtabdagi strukturasi o‘rganish va samarali foydalanish;
- galaktikalar to‘g‘risidagi ma’lumotlar, ularning tamoyillari va imkoniyatlarini o‘rganish;
- protoyulduzning vujudga kelishi va uning shartlaridan foydalanish;
- kompakt ob’ektlar atrofidagi magnit maydonini o‘rganish;
- neytron yulduzlar va oq mittilar haqidagi tushunchalarni farqlay olish;
- galaktikamiz markazidagi qora tuynuk va uni kuzatish;
- astrofizikadagi kompakt ob’ektlar va gravitatsion to‘lqinlarini tahlil etish;
- astrofizika nuqtai-nazaridan gravitatsion kollapsning turlarini farqlash va amaliyotga tatbiq etish ***ko‘nikma va malakalariga*** ega bo‘lishi lozim.

Tinglovchi:

- kosmologiyaning hozirgi kundagi holatini nomoyish etish;
- koinotning paydo bo'lishi, ulkan portlash, koinotda moddalarning shakllanishini tekshirish va baholash;
- yulduzlarning koinotda taqsimlanishini o'rganish;
- gersshprung-Rassel ketma-ketligining asosiy tushunchalarini amaliyotda samarali qo'llash;
- olamning rivojlanishidagi hal qiluvchi bosqichlaridan aniq ma'lumotlar olish;
- astrofizika nuqtai-nazaridan yulduzlarda kechadigan jaryonlarni tahlil etish, baholash va umumlashtirish **kompetensiyalariga** ega bo'lishi lozim.

Zamonaviy astrofizikada yulduzlarning turlari va ularning evolutsion bosqichlarini o'rganish moduli bo'yicha soatlar taqsimoti

	Modul mavzulari	Tinglovchining o'quv yuklamasi, soat			
		Hammasi	Auditoriya o'quv yuklamasi		
			Jami	jumladan	
				Nazariy	Amaliy
1	Yulduzlar evolyutsiyasi.	2	2	2	
2	Protoyulduzning vujudga kelishi va uning shartlari.	2	2		2
3	Gersshprung-Rassel ketma-ketligining asosiy tushunchalari.	2	2		2
Jami:		6	6	2	4

NAZARIY MASHG'ULOTLAR MAZMUNI

1-MAVZU: YULDUZLAR EVOLYUTSIYASI. (2 SOAT)

Yulduzlar evolyutsiyasi. Yulduz turlari. Yulduzlarni kuzatish va ularning imkoniyatlari. Yangi yulduzning tug'ilishi. Yulduzlarning ichki energiyasi. Yulduzlarning statsionarlik sharti. Hidrodinamik bosim. Yulduzlarning magnit maydoni. Yulduzlar klassifikatsiyasi. Galaktikalar to'g'risidagi ma'lumotlar, ularning tamoyillari va imkoniyatlari.

AMALIY MASHG'ULOTLAR MAZMUNI

1-AMALIY MASHG'ULOT: PROTOYULDUZNING VUJUDGA KELISHI VA UNING SHARTLARI. (2 SOAT)

Protoyulduzning vujudga kelishi va uning shartlari. Olamning rivojlanishidagi hal qiluvchi bosqichlar. Yulduzlarda moddalarining shakllanishi va ularning koinot bo'ylab taqsimlanishi haqida.

2-AMALIY MASHG‘ULOT: GERSSHPRUNG-RASSEL KETMA-KETLIGINING ASOSIY TUSHUNCHALARI. (2 SOAT)

Gersshprung-Rassel ketma-ketligining asosiy tushunchalari. Astrofizika nuqtai-nazaridan yulduzlarda kechadigan jaryonlar. Yulduzlarning koinotda taqsimlanishi. Zamonaviy kuzatish asboblari.

O‘QITISH SHAKLLARI

- Mazkur modul bo‘yicha quyidagi o‘qitish shakllaridan foydalaniladi:
- ma‘ruzalar, amaliy mashg‘ulotlar (ma‘lumotlar va texnologiyalarni anglab olish, aqliy qiziqishni rivojlantirish, nazariy bilimlarni mustahkamlash);
- davra suhbatlari (ko‘rilayotgan loyiha yechimlari bo‘yicha taklif berish qobiliyatini oshirish, eshitish, idrok qilish va mantiqiy xulosalar chiqarish);
- bahs va munozaralar (loyihalar yechimi bo‘yicha dalillar va asosli argumentlarni taqdim qilish, eshitish va muammolar yechimini topish qobiliyatini rivojlantirish).

II. MODULNI O‘QITISHDA FOYDALANILADIGAN INTERFAOL TA’LIM METODLARI.

“SWOT-tahlil” metodi.

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

S – (strength)	• kuchli tomonlari
W – (weakness)	• zaif, kuchsiz tomonlari
O – (opportunity)	• imkoniyatlari
T – (threat)	• to'siqlar

Namuna: Koinotni katta portlash natijasida yaratilishi, inflyasiya jarayoni. Fundamental o‘zaro ta’sirlar SWOT tahlilini ushbu jadvalga tushiring.

S	Koinotni katta portlash natijasida yaratilishi, inflyasiya 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, inflyasiya jarayoni. Fundamental o‘zaro ta’sirlar foydalanishning kuchsiz tomonlari	Xozirigi paytda eksperimentda tekshirish imkoniyati yo‘q.
O	Koinotni katta portlash natijasida yaratilishi, inflyasiya 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
- V. foton
- S. glyuon



Tushuncha tahlili

- W -bozon tushunchasini izohlang...



Qiyosiy tahlil

Fundamental o’zaro ta’sir kuchlarini taqqoslang



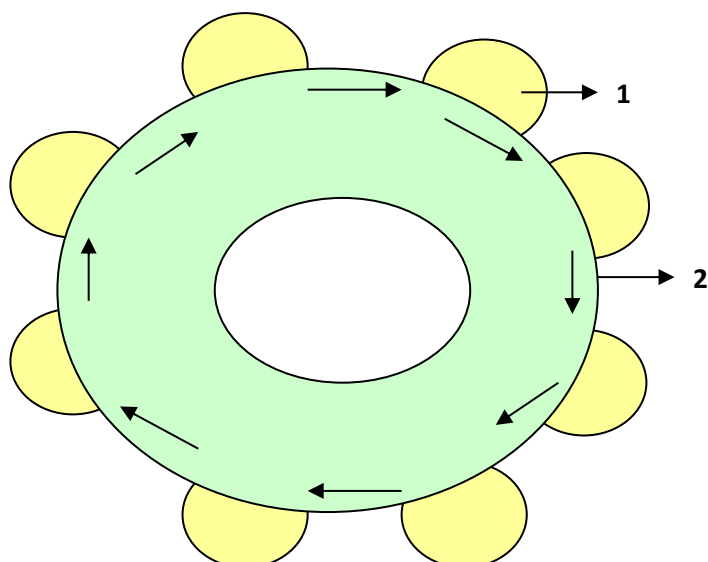
Amaliy ko’nikma

- Zarrachaning energiyasini xisoblang

“Davra suhbat”i metodi

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

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



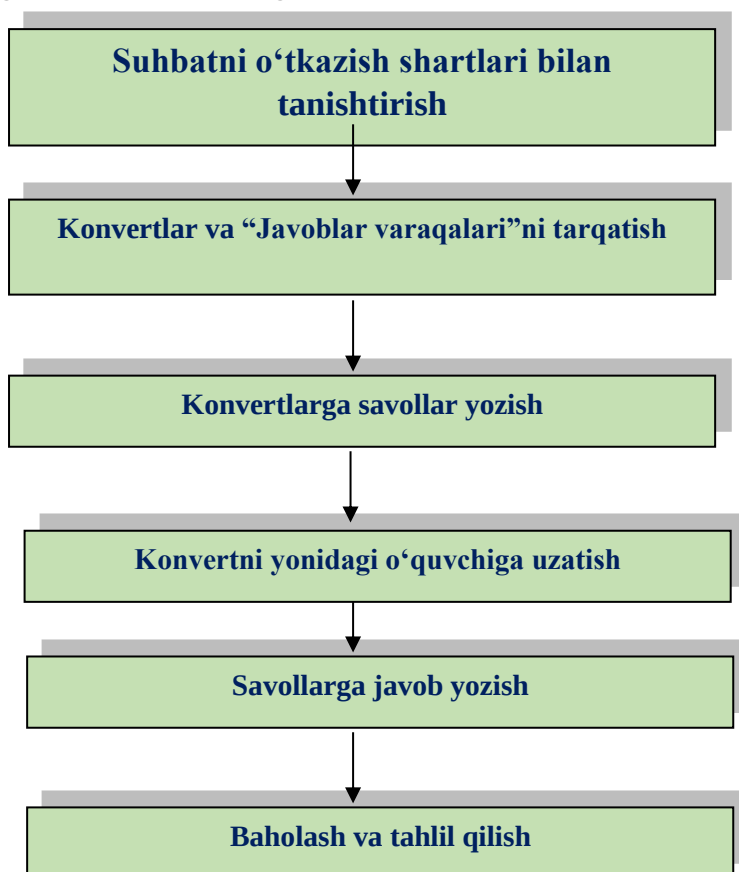
Belgilar:

1-ta'lim oluvchilar

2-aylana stol

Davra stolining tuzilmasi

Yozma davra suhbatida stol-stullar aylana shaklidajoylashtirilib, har bir ta'lim oluvchiga konvert qog'oz 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 suhbat" metodining tuzilmasi keltirilgan



“Davra suhbatı” metodining afzalliklari:

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

III. NAZARIY MASHG'ULOTLAR MAZMUNI

1-MAVZU: YULDUZLAR EVOLYUTSIYASI. (2 SOAT)

Reja:

1. Yulduzlar evolyutsiyasi. Yulduz turlari. Yulduzlarni kuzatish va ularning imkoniyatlari.
2. Yangi yulduzning tug'ilishi. Yulduzlarning ichki energiyasi. Yulduzlarning statsionarlik sharti
3. Hidrodinamik bosim. Yulduzlarning magnit maydoni. Yulduzlar klassifikatsiyasi.
4. Galaktikalar to'g'risidagi ma'lumotlar, ularning tamoyillari va imkoniyatlari.

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

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 kuzatiladi¹.

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

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

Qadimdan yulduzlar juda ko'p va bir biriga (sayyoralarga) nisbatan harakatlanuvchi mitti yorug' sharga o'xshab ko'ringan. Koinot mukammal, bir

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

butundir hamda Biz uning markazida yoki markaz yaqinida joylashganmiz. Lekin 1609 yili dastlabki Galileyning optik teleskoplar yordamida tungi osmonni kuzatuvlaridan keyin Koinot to'g'risidagi tasavvurlarimiz dramatik tarzda o'zgardi. Endi biz o'zimizni Koinot markazida deb tasavvur qila olmaymiz va u mislsiz kattadir.

Oysiz tunda ochiq osmonda biz minglab har xil yorqinlikdagi yulduzlarni, shuningdek, Somon Yo'lining uzun yorug' bulutli tasma-sini ham ko'rishimiz mumkin. (1-rasm). Galiley ilk bor o'zining teleskopida Somon yo'lining son-sanoqsiz alohida yulduzlardan tashkil topganligini kuzatgan. Qariyb bir yarim asr keyinroq (taxminan 1750 yillarda) Tomas Vrayt xozirda biz Galaktika² deb nomlaydigan Somon yo'lini bir tekislikda juda katta masofalarga yoyilib ketgan yulduzlardan iborat yassi disk deb taxmin qildi.

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



(a)

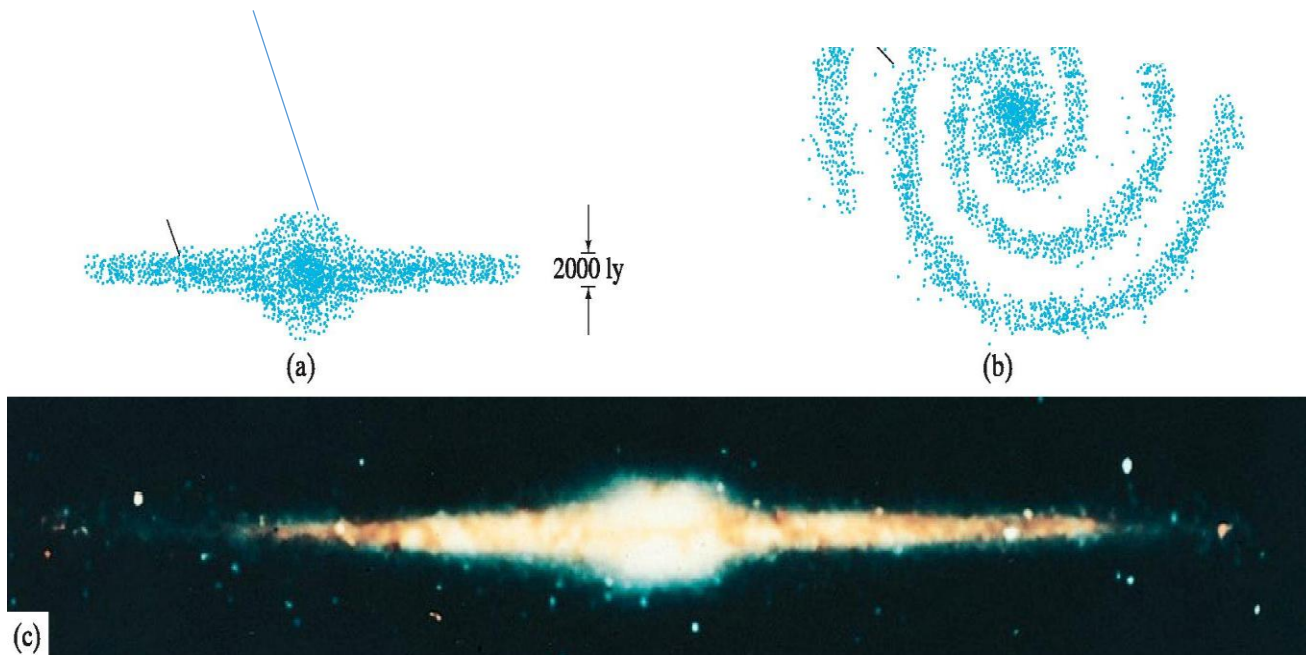


(b)

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

Quyosh

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



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

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

3-rasm. *Herkules yulduz turkumida joylashgan sharsimon yulduz klasteri*



Eng ajoyib uchinchi toifaga mansub bo‘lganlar: ular ko‘pchiligi elliptik shakliga ega. Immanuel Kant (1755 y.) ularning hira bo‘lib ko‘rinishining sababini bizning Galaktikadan juda olisda joylashganligida deb tushintirgan. Dastlab, bu ob’yektlar Galaktikamizdan tashqaridagi (ekstragalaktik) ob’yektlar ekanligi

ishonarli deb tan olinmadi, lekin XX asrga kelib juda katta diametrli teleskoplar barpo etildi va ular yordamida extragalaktik ob'yektlar kuzatila boshalandi, hattoki ko'pgina yulduzlarning boshqa, Galaktikamizdan olisdagi spiralsimon galaktikalardagi aniq joylashgan o'rinlari va boshqa xususiyatlari aniqlandi. Yedvin Habbl (1889-1953) 1920 yillarda Los Angeles va Kaliforniya yaqinidagi Vilson tog'ida joylashgan 2.5m li teleskop yordamida ko'pgina kuzatuvlar olib bordi. Habbl ushbu ob'yektlar haqiqatan ham Galaktikamizdan tashqarida joylashganini ulargacha masofaning juda kattaligidan kelib chiqqan holda isbotlab berdi. Bizga eng yaqin galaktika bo'lgan Andromeda tumanligigacha masofa 2 million yoy.ga teng, bu esa Galaktikamiz o'lchamidan 20 barobar katta degani. Mantiqan olib qaraganda bu tumanlik bo'lib ko'rinishiga qaramasdan, u ham Galaktikamizga o'xshash galaktika bo'lsa ajab emas. Bugungi kunga kelib, koinotning kuzatish mumkin bo'lgan sohasida taxminan 10^{11} ta galaktikalar mavjud, bu degani galaktikalar soni taxminan bitta galaktikadagi yulduzlar soniga teng (4-,5-rasmlarga qarang).



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



5-rasm. Galaktikalarning rasmlari, (a) Hidra yulduzlar turkumlaridagi spiral galaktikalar, (b) Ikkita galaktika: kattaroq va dramatikrog'i mashxur Virlpul galaktikasi, (c) (b)dagi galaktikaning infraqizil tashviri ("yasama" ranglarda berilgan), bu Yerda spiral galaktikaning (b) rasmda ko'rinmay qolgan yenglari ham ko'rsatilgan; har hil ranglar har hil intensivliklarga to'g'ri keladi. Ko'rinuvchi nurlar galarikalararo "changlar" da infraqizil nurlarga nisbatan ko'proq yutiladi va sochiladi, shuning uchun infraqizil nurlar aniqroq tasvir beradi.

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

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

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

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

a) to‘la energiyani o‘lchash yo‘li bilan T-ni hisoblash. Bu usulni burchakiy diametri ma‘lum bo‘lgan yulduzlarga qo‘llash mumkin va u yulduziy bolometrik kattalikni o‘lchashni talab qiladi. Bunday usul bilan topilgan temperatura effektiv temperatura deb ataladi va u to‘la energiyasi yulduznikidek bo‘lgan absolyut qora jismni temperaturasini ko‘rsatadi $L=4\pi r^2 \cdot Y_e$ -yulduzning yorqinligi, Y_e -yulduz nuri masalan, Yerdan 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_{ye} -uning temperaturasi. Ularni tenglashtirib temperaturani topamiz $T_{ye}=642.3$

$$\sqrt[4]{\frac{E}{\sigma \theta^2}}; \theta = 206265 \frac{2R}{r} \text{ yulduzning burchakiy sekundlarda ifodalangan diametri.}$$

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

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

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

³James B. Hartle, Gravity: An Introduction to Einstein’s General Relativity, Pearson Education Ltd., 2013, 554 p.

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

1) Vin siljish qonuniga asosan hisoblash. Vin siljish qonuni yoritqich spektrida energiya maksimumining to'liq uzunligi bilan temperatura (T_{ye}) orasidagi brjlanishni ifodalaydi va undan foydalanib $T_p = \frac{0.29}{\lambda_{max}}$ K ni topamiz; bu yerda λ_{max} -

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

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

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

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

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

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

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 bo'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 unutmaslik kerak. Temperatura yulduzning ichki qatlamlarida bundan yuqori bo'ladi.

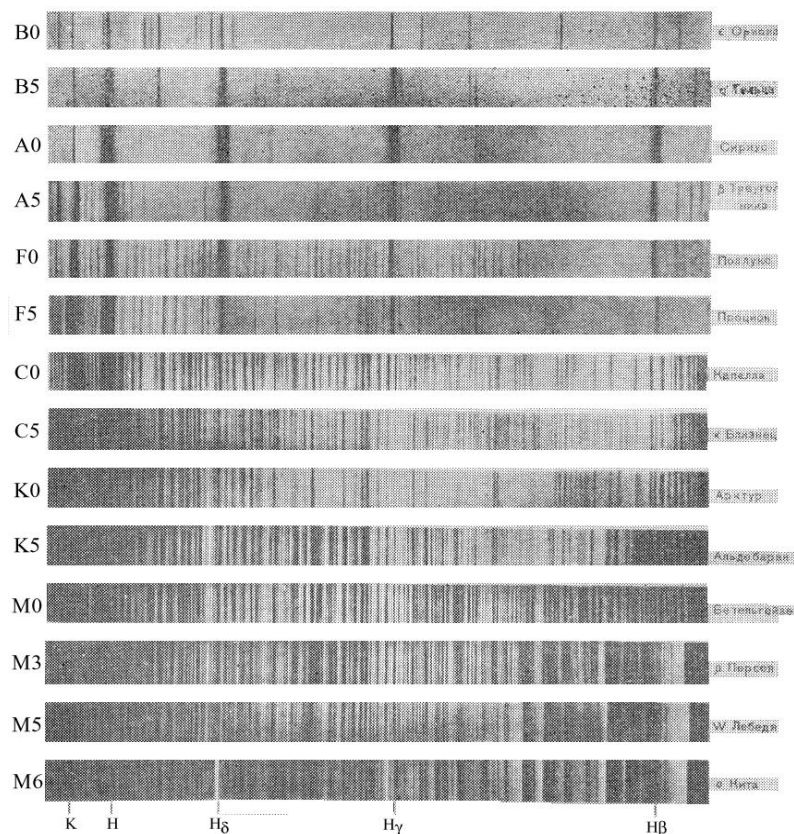
Yorqinlik temperatura (T) ning to'rtinchi darajasiga bog'liqligini xisobga olsak, yuqorida topilgan yulduzlarning yuza temperaturalar farqi ularning yorqinliklarini $2.5 \cdot 10^5$ marta o'zgarishini ta'minlaydi. Demak L ni o'zgarish diapazoni (10^{12})ni qoplash uchun R ni o'zgarish diapazoni 10^5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

bo'lmisligi zarur.

Yulduzlar spektri. Spektral sinflashtirish. Ko'plab stasionar yulduzlar spektrini tahlil qilib, ulardagi chiziqlar to'liq uzunligi va intensivligi har xil ekanligiga ishonch hosil qilish mumkin. Chiziqlarni intensivligiga ko'ra yulduzlarni ma'lum ketma-ketlikda joylashtirish yoki spektral sinflarga ajratish mumkin. Bunday ish birinchi navbatda vodorod (N_α , N_β , N_γ , N_δ) va geliy ($\lambda\lambda$ 5875 Å, 6678 Å) va keyin metal ionlari (N va K Sa II) atomlari (D_1 , D_2 , Na), molekular chiziqlariga nisbatan AQSHning Garvard universitetida bajarilgan va u garvard spektral sinflashtirish deb ataladi. 1918-24 yillarda e'lon qilingan va Genri Dreper (ND) katalogi deb ataladigan 9 tomlik jadvalda 225330 yulduzni spektral sinfi belgilangan. Hozirgi kunga kelib jami 500 000 dan ortiq yulduzni spektral sinfi aniqlangan. Spektral sinflar lotin alifbosining bosh haflari bilan belgilanadi: O, B, A, F, G^c , K, M^s , (L, T). Bu harflar ketma-ketligini eslab qolish uchun garvard universiteti talabalar shunday hazil o'ylab topishgan: Oh, BeAFineGirlKissMe⁴.

O-sinfgamansubiyulduzlarspektridageliyioni (NeII) vayuqoridarajadaionlanganazot (NIII λ 4514 Å, NIV λ 3479 Å), uglerod (CIII λ 4647 Å) kislorod (OIII λ 3700 Å, OIV λ 3385 Å)chiziqlariko'rinadi.

V-sinfgamansubiyulduzlarspektridneytralgeliy (NeI λ 5875 Å) vapastdarajadaionlanganazot (NII λ 6578 Å, λ 4267 Å), uglerod (SII λ 6578 Å, λ 4267 Å), kislorod (OII λ 4649 Å, λ 4119 Å) vavodorodatomichiziqlari (N_α λ 6563 Å, N_β λ 4861 Å, H_γ λ 4340 Å) kuzatiladi.



⁴Arnab Rai Choudhuri, Astrophysics for Physics, Cambridge University Press, 2010, 471 p.

Rasm- 6. Xar spektral sinfga mansub yulduzlarning sinfi

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

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

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

K-kalsiyioni (SaII) chiziqlari va metallar chiziqlari ($\text{Gasma}\lambda 4305 \text{ \AA}$ da $\lambda 4315 \text{ \AA}$) yaqqol ko‘rinadi, molekulalar (TiO) chiziqlari va tasmalar ko‘rinib boshlaydi. Aldebaran (Savrning α -si, αTau) misol bo‘laoladi.

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

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

T-sinfga kiradigan yulduzlarspektrida 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‘rinadi⁵.

Yulduzlarning fizik ko‘rsatgichlarini yana ham aniqroq belgilash maqsadida spektral sinflar ketma-ketligi keltiriladi, asosiy sinflar orasi o‘nta oraliq sinfga ajratiladi: O5, O6, O7, O8, O9, V0, V1, V2, . . . , V8, V9, A0, A1, . . . A8, A9, J0, . . . va 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‘rinishini zarur sharti yulduz atmosferasida shu element atomlarini mavjudligi bo‘lsa, yetarli sharti atmosferada temperatura sharoiti atomlarni uyg‘ongan holatga o‘tkazish uchun yetarli bo‘lishi kerak. Demak spektral ketma-ketlik asosida temperaturalar har xilligi yotadi. Atomlarni uyg‘ongan holatlar bo‘yicha taqsimlanishi Bolsman va Saxa formulalari bilan ifodalanadi. Har bir kimyoviy elementni ko‘pchilik atomlari ma’lum temperaturada (T_u) uyg‘on holatlarga o‘tadi. Agar $T > T_u$ bo‘lsa atomlar ionlanadi va bu chiziqni hosil qilishda ishtirok etayotgan atomlar sonini kamayishiga olib keladi. Yoki $T < T_u$ bo‘lsa bu holda ham shu chiziqni hosil qilishda ishtirok etadigan atomlar soni kam bo‘ladi. Vodorodning ko‘pchilik atomlarini uyg‘ongan holatlarga ($\chi = 10 \text{ eV}$) o‘tkazish uchun $T_u = 10^4 \text{ K}$ bo‘lishi kerak.

⁵James B. Hartle, Gravity: An Introduction to Einstein’s General Relativity, Pearson Education Ltd., 2013, 554 p.

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 uyg'ongan holatlarga o'tkazish uchun yetarli emas. Shuning uchun ularida geliy chiziqlari kuchsiz. K, M-sinf yulduzlarida temperatura ancha past (4500-3500 K) va molekulalar hosil bo'lishi uchun sharoit yetarli.

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

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

1-jadval

	O5	V0	A0	G'0	G0	K0	M0	L	T
Te	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

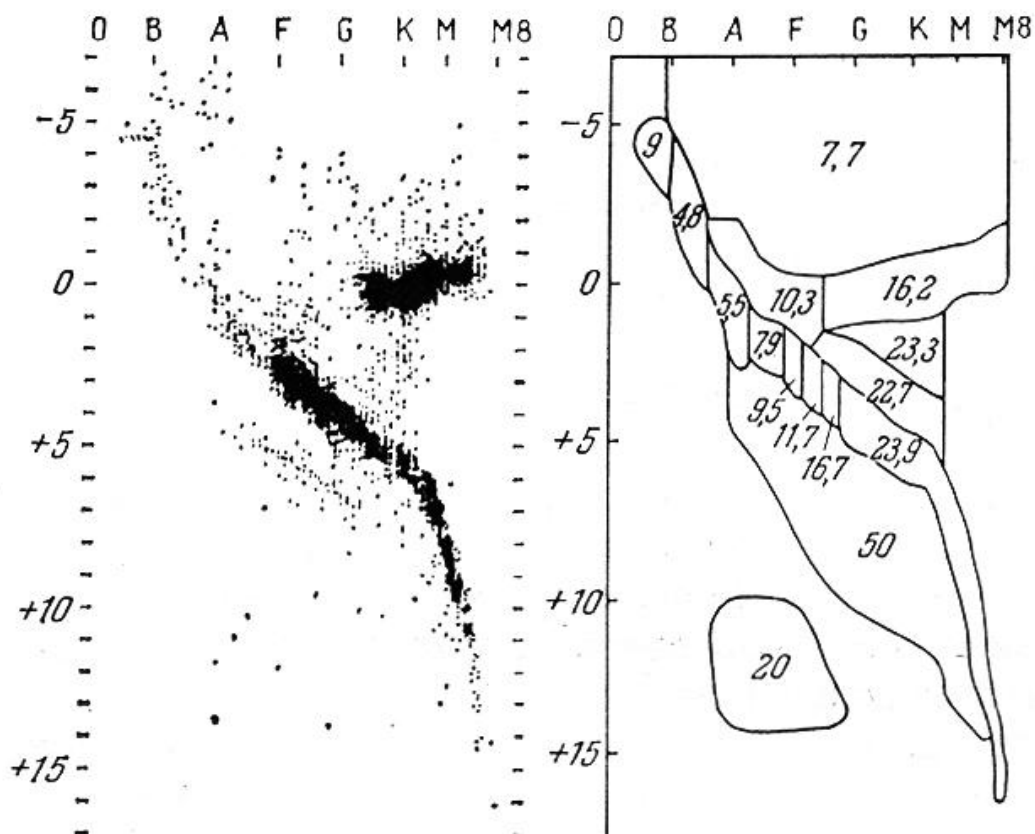
XX asr boshlarigacha bir nechta yulduzni uzoqligi (yillik parallaksi) o'lchanadivabsolyut kattaligi (M) hisoblab topiladi. Shu paytgakelibularning spektral sinflari ham aniqlanadi. 1905 – 1913 yillarda danialik E. Gersshprung (1873-1967) va amerikalik G.N. Rassel (1877-1957) bir biriga bog'liq bo'lmagan holda yulduzlarning diagrammasini tuzadilar. Ular ordinata o'qibo'yli yulduzlarni absolyut kattaligi absissa o'qibo'yli bespektral sinflarini qo'yadilar.

Bunday diagramma dastlab yulduz bittan uqtasifatida o'riningallaydi. “Gersshprung-Rassel diagramma” sinomi bilan fanga kirgan, bu diagramma 2-rasmda tasvirlangan⁶.

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 yorqindirlar va bu ularning radiusi o'nlab marta kattaligi bilan bog'liq.

⁶Arnab Rai Choudhuri, Astrophysics for Physics, Cambridge University Press, 2010, 471 p.

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

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

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

Yulduzlarni aylanishi va magnit maydoni. Quyosh o‘z o‘qi atrofida aylanadi va uning aylanish tezligi ekvatorida 2 km/s. Quyoshning umumiy magnit maydoni kuchlanganligi 0.5 gs ga teng va u o‘zgaruvchan (22 yillik sikl)dir. Yulduzlar ham o‘z atrofida aylanishi va uning tezligiga mos ravishda kuchlanganlikka ega

o'zgaruvchan magnit maydon hosil qilib turishi kerak. Agar yulduz o'z atrofida aylanayotgan bo'lsa uning bir cheti bizga tomon harakat qilsa qarama-qarishi bizdan uzoqlashadigan harakat qiladi. Demak yulduzning butun gardishi bo'yicha yig'indi nurlanish spektrida chiziqlar doppler effekti tufayli kengaygan bo'ladi. Shuning uchun bir xil sinfga mansub ikkita yulduz chiziqlari farqi ularni o'q atrofida aylanishi va magnit maydoni bilan bog'liq bo'lishi mumkin. Haqiqatdan chiziqlar profilini o'rganish shuni ko'rsatdiki, O5-G'0 sinfga mansub bosh ketma-ketlik yulduzlari o'q atrofida aylanishi ekvatorida 300-400 km/s ga yetishi mumkin. G'5-M sinfga mansub yulduzlarniki 10 km/s dan oshmaydi. o'tagigant va gigant O-F yulduzlar bosh ketma-ketlik yulduzlariga nisbatan sekin aylansalar, G-M yulduzlar tez (100 km/s gacha) aylanadilar⁷.

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

4.1 Gravitasion kollaps

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

Biroq ularni hosil qiladigan yulduzlar zich qo'shaloq bo'lishi ta'kidlanmoqda.

a) yangi yulduzlar. O va V sinfga mansub havo rang karlik chaqnash sifatida ko'rinadigan bunday yulduzlarni ikki guruhga bo'lish mumkin. Birinchi guruhga juda tez va tez yangilar kiradi, ularning so'nish fazasida yorug'ligini o'zgarish egrisi nisbatan tekis bo'lib (3-rasm) maksimumida absolyut vizual kattaligi $M_V = -8 \div -14^m$ 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 kuzatiladi⁸. Masalan, Andromeda tumanlii (M 31)da 300 yaqin yangi qayd qilingan. Andromeda tumanligida va bizning Galaktikada (~200 ta) yangilar yulduz tizimning asosiy tekisligi yaqinida, tizim markazi tomon zichlashib boradigan holda kuzatiladilar. Yangining maksimumida absolyut vizual kattaligi ($M_{V,max}$) bilan uni uch birlikka kamayishi uchun ketgan vaqt (t_3) orasida quyidagi statistik bog'lanish topilgan:

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

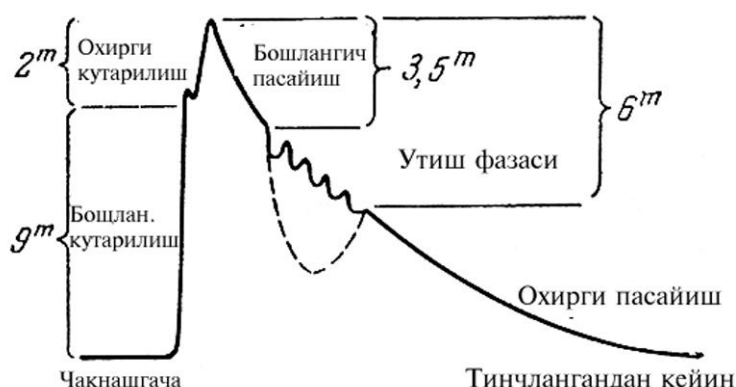
⁷ Бочкарев Н.Г.6 Магнитные поля в космосе, М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2011. – 216 с.

⁸Max Camenzind, Compact Objects in Astrophysics, Springer, 2007, 682 p.

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.



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

Maksimumdan keyin spektrda keskin o'zgarishlar ro'y beradi: qisqa to'liqli tomoniga absorbsion (yutilish) chiziqlar yopishib turgan ko'plab emission polosa (tasma)lar paydo bo'ladi. Absorbsion chiziqlarga endi 1000 km/s dan ortiq harakat mos keladi. Maksimumdan keyin, yangi yorug'ligi 5-6^m birlikkacha kamaygach tutash spektr juda xira, yulduzning spektri qaynoq gaz spektriga o'xshash emission chiziqlardan iborat. Bu paytda yangi spektri Volf-Rayе 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-Rayе yulduzlar spektriga o'xshashligi ularga qobug'i tez (1500 km/s gacha) kengayayotgan yuduz statusini berishga imkon beradi. Maksimumdan keyin yangi spektrida N, SaII, Ni, FeII, TiII, OI va Ci absorbsion chiziqlari kuzatiladi. Bu yangining bosh yutilish spektridir. Bulardan tashqari spektrda ta'qiqlangan chiziqlar [OI] $\lambda\lambda 5577, 6300, 6363$, [NII] $\lambda 5755$ shuningdek kuchaygan HeI $\lambda 5876$ chiziq kurinadi. Bosh spektr-diffuz-chaqmoq spektrga aylanadi (chiziqlar keng, yoyiq $v_N 1500$ km/s). Yagini yorug'ligi 3.5^m birlikka pasaygach yangini yutilish spektri V sinfga mansub yulduzlarnikiga o'xshaydi. Bundan keyin yulduz o'tish fazasiga tushadi: bunda yoki yulduz yorug'ligi kichik tebranishlar ko'rsata boshlaydi yoki 5^m birlikka keskin pasayib ketadi. Bundan birnecha hafta keyin yulduz yorug'ligi oldingi umumiy pasayish darajasigacha ko'tariladi va yangini so'nishi davom etadi. Spektrda yutilish

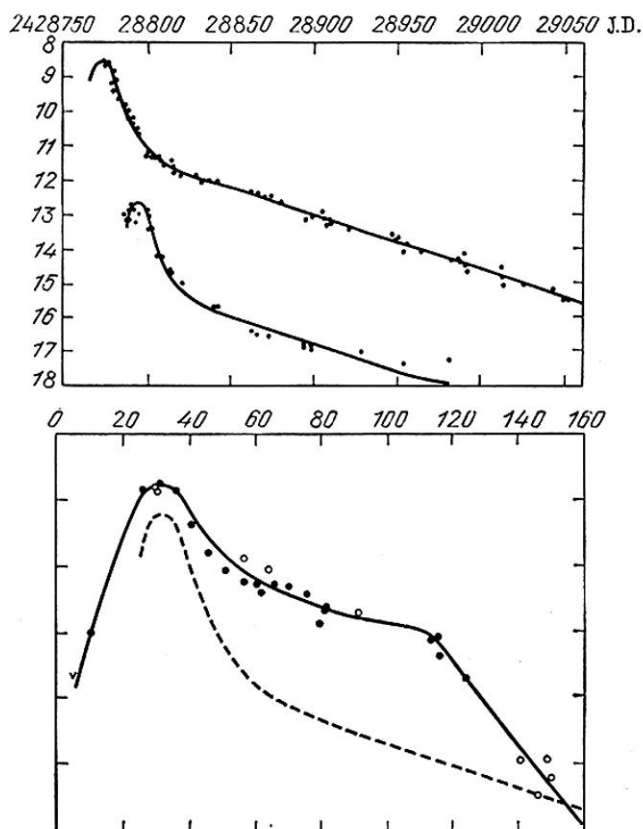
chiziqlari yo'qoladi, faqat keng emission chiziqlar qoladi. Yangi bu fazasi nebulyar (tumanlikka o'xshash) faza deb ataladi va u yangi chaqnashdan avvaligi darajaga tushguncha davom etadi.

Yangi yorug'ligi va spektrini o'zgarishini "yulduz shishadi va yoriladi" deb tushuntirish mumkin. Haqiqatdan chaqnash boshlanishida uning yorug'ligini ortishi va spektrini dyarli o'zgarmasligini uning radiusini kattalashishi yoki yulduzni yetarli darajada qalin ($r \gg 1$) qobug' qatlamini kengayishi bilan tushuntirish mumkin. Yulduz diametri Quyoshnikidan bir necha yuz marta kattalashgach, qobug' yupqalashadi va bir necha bulutsimon bo'laklarga bo'linib ketadi. Bu bo'laklar yulduzdan barcha tomonga o'zoqlasha boshlaydilar. Yulduzdan ketma-ket bir necha qobug' qatlamlar uzilib chiqadi va kenyadi. Yulduz atrofida tumanlik hosil bo'ladi. Chaqnash natijasida yangi yulduzning 10^{-4} – $10^{-5}m_{\odot}$ massasi fazoga uloqtirib yuboriladi, yoki uning atrofida gaz tumanlik hosil bo'ladi.

Ayrim yangilar zich qo'shaloq ekanligi aniqlangan. Misol uchun Gerkules yulduz turkumida 1934 y. da chaqnagan yangi NHer 1934 to'silma qo'shaloq bo'lib yorug'ligini o'zgarish amplitudasi 2^m birlik davri $4^h 39^m$ –qisqa. Shunday ko'rsatshichga ega yangilar T-Aur ($B=4^h 54^m$), V603 Agl ($3^h 20^m$). Bu yangilarni massasi kam degan xulosaga olib keladi: $m=(0.87 \pm 0.33)m_{\odot}$

b) O'tayangi (SN) yulduzlar. o'tayangi (SN) chaqnashi natijasida ajralib chiqadigan energiya butun bir galaktika sochayotgan energiyaga yaqin bo'ladi. 1885 yilda Andromeda tumanligida kuzatilgan N5 6^m yulduziy kattalikka ega bo'lgan. Solishtirish uchun Andromeda tumanligi yig'ma yorug'ligi 4.4^m . Masimumda SN larni absolyut kattaligi o'rtacha $M_V=-15^m$, ya'ni yangilarnikidan 7^m birlikka yuqori. Ayrim o'tayangilar maksimumda $M_V=-20^m$ ga yetadi bu Quyoshnikidan 10 mlrd. marta ortiq demakdir. Bizning Galaktikada oxiri 1000 yil ichida uch marta (1054 y. da Savrda, 1572 y. da Kassiopeyada, 1604 y. da Iloneltuvchida) SN chaqnagan. 1670 yilda Kasseopeyada chaqnagan o'tayangi tasodifan qayd qilinmagan. Hozir bu yulduz atrofida gaz tumanlik kuzatiladi va kuchli radionurlanish (CasA) sochiladi⁹.

⁹T. Padmanabhan, Theoretical Astrophysics, Volume II, Cambridge University Press, 2010.



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

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

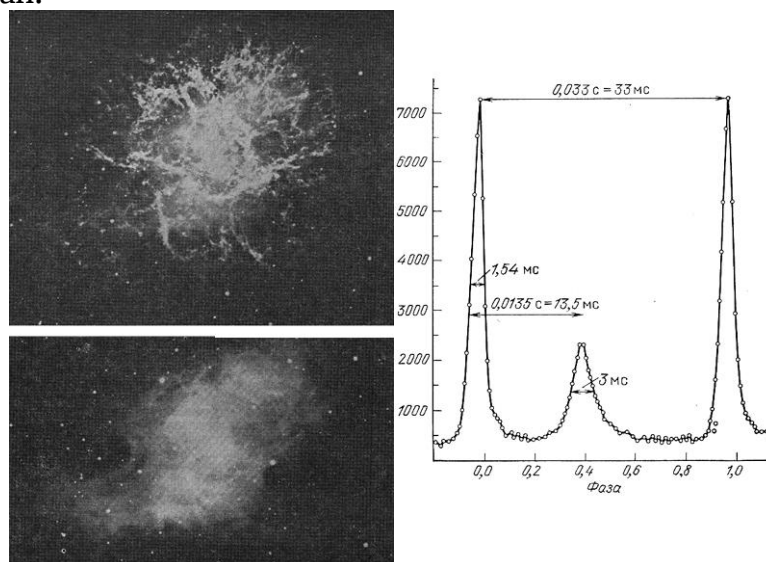
Yorug'ligini o'zgarish egrisiga ko'ra SN larni ikki turga bo'lish mumkin: SNI va SNII. SNI-maksimumi tez (bir hafta) o'tadi va undan keyingi 25 kun ichida yorug'ligi kuniga 0.1^m dan kamaya boradi. Shundan keyin yorug'ligini pasayishi sekinlashadi (4 rasm) va shu tarzda to yulduz qayd qilib bo'lmaydigan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

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

SNI spektri yangilarnikidan butunlay farq qiladi. Spektridagi keng emission tasmalar hech bir element atomi chiziqlarga mos kelmagandan bu tasmalar chiziq emas balki tutash spektr sohalaridir. Ularni ajratib turuvchi qora sohalar kengaygan va siljigan yutilish chiziqlari degan xulosaga kelindi (E.R. Mustel, Yu.P. Pskovskiy, Rossiya). Bu qora tasmalarni tekshirish natijasida SNI paytida yulduzdan massasi

0.3 $m_{\odot}$ bo'lgan qobug' ajraladi va 15 000 km/s tezlik bilan kengaya boshlaydi. Tezliklar keng oraliqni egallaydi. Qobug' bo'laklarga ajralib ketgan. SNII-spektri oddiy yangi yulduzlar spektriga o'xshash: qisqa to'liqlik tomoniga yutilish chizig'i yopishib turgan keng emission tasmalardan iborat. Vodorod chiziqlari intensiv. SNI-vodorodi yonib tugagan yulduzlardir. SNII-esa yosh yulduzlardir¹⁰.

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



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

Qisqichbaqasimon tumanlik 16^m kattalikdagi ichida qo'shaloq yulduz joylashgan. Yulduzlarni bari quyi spektral sinfga mansub ikkinchisi esa juda qaynoq, kuchli ultrabinafsha rang ortiqlikka ega yulduz. Bu yulduz radio va rentgen diapozonlarda impulsar tariqasida nurlanish sochadi. Impulsar oralig'i –davri 0.033 sek. Bu neytron yulduz bo'lib o'q atrofida tez aylanishi (sekundiga 33 marta) natijasida pulsar sifatida ko'rinadi. NP 0532 raqam bilan ro'yxatga olingan bu pulsarni davri sistematik ravishda ortib bormoqda (aylanish tezligi kamaymoqda): 2500 yilda 2.7 marta. Bunday sekinlashuv energiyani 10³⁸ erg/s ga kamayishini ko'rsatadi. (Rasm-5).

Yulduzlarning tarkibi

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

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

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

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

Yulduzning evolyusiyasi boshidan oxirigacha kuzatib bo'lmaydigan juda uzoq davom etadigan jarayon. Shuning uchun, yulduz evolyusiyasini tekshirishda har xil massaga ega yulduzlarning ichki tuzilishi va kimyoviy tarkibini vaqt bo'yicha o'zgarishini namoyish etuvchi evolyusion modellarni tuzish usuli qo'llaniladi. Bu evolyusion modellar kuzatish natijalari, masalan, harxil evolyusiya bosqichidagi ko'plab yulduzlarning yorqinligi bilan temperaturasini bog'lovchi Gershprung-Rassel diagrammasi bilan solishtiriladi va bu yulduzni evolyusion ketma-ketlikda o'rni 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 gravitasion siqilish bosqichi.

Eng keng tarqalgan qarashga ko'ra yulduzlar yulduzlararo muhitdagi moddani kondensatsiyalanishi natijasida hosil bo'ladilar. Buning uchun yulduzlararo muhit ikki bosqichni o'tishi zarur: zich sovuq bulut va yuqoriroq temperpturadagi siyraklashgan muhit. Birinchi bosqich yulduzlararo muhitdagi magnit maydonda 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 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 ular zarralarning gravitasion bog'lanish energiyasi zarralarning issiqlik harakati, bulutning yaxlit holda aylanish energiyalar yig'indisidan kata bo'lishi kerak (Jins kriteriyasi). Agar faqat issiqlik energiyasi hisobga olinsa Jins kriteriyasiga ko'ra hosil bo'lgan bulutning massasi

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

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 kerak¹².

Jins kriteriyasiga ko'ra massasi hozir ma'lum bo'lgan oraliqdagi (0.01 – 100

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

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

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

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

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

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

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

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

Gidrostatik muvozanatdagi kam massaga ega yulduzlar o'zagidan energiya konveksiya yo'li bilan chiqadi. Massasi Quyoshnikining uchdan biridan ko'p

yulduzlar o'zagida nuriy muvozanat qaror topadi. Massasi uch Quyosh massasidan ko'p yulduzlar o'zagida nuriy muvozanat tezda shakillanadi.

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'xtatolmaydi. Yulduz markazida temperatura $\cong 10^7$ K ga yetganda va vodorodni yonishi boshlanganda uni gravitasion siqilishi to'xtaydi. Chunki faqat vodorodni yonish energiyasi yulduz fozoga sochayotgan energiyani to'ldirib turish uchun yetarli. o'zagida vodorodni yonishi boshlangan birjinsli yulduzlar G-D da dastlabki bosh ketma-ketlikni (BKK) tashkil qiladi. Massiv yulduzlar BKK ga kam massalilarga qaraganda tezroq tushadilar. BKK ga tushgandan boshlab yulduz evolyusiyasi yadrolarni yonishi asosida (yadroviy bosqichlar jadvalda keltirilgan) boradi.

2-jadval. Yadroviy yulduz evolyusiyasining asosiy bosqichlar

Yadroviy yoqilg'i	Yonish mahsuloti	Yonish temperaturasi, K	Energiya chiqarish, erg/g	Energiyani olib ketuvchi zarra	Dovomiyligi, yulduz yoshi foizlarida
H	He	$(1-3) \cdot 10^7$	$7 \cdot 10^{18}$	fotonlar	$\cong 90 \%$
He	C, O	$2 \cdot 10^8$	$7 \cdot 10^{17}$	fotonlar	≤ 10
C	Ne, Na,	$1 \cdot 10^9$	$5 \cdot 10^{17}$	neytrino	< 1
Ne	Mg	$1.3 \cdot 10^9$	$1 \cdot 10^{17}$	neytrino	< 1
O	O, Mg	$1.8 \cdot 10^9$	$5 \cdot 10^{17}$	neytrino	< 1
Si	Si ÷ Ca	$3.4 \cdot 10^9$	$3.4 \cdot 10^{17}$	neytrino	< 1
	Sc ÷ Ni				
Yadroviy yoqilg'i	Yonish mahsuloti	Yonish temperaturasi, K	Energiya chiqarish, erg/g	Energiyani olib ketuvchi zarra	Dovomiyligi, yulduz yoshi foizlarida

Temperatura $\leq 18 \cdot 10^6$ bo'lganda proton-proton sikli, undan yuqori bo'lganda uglerod-azot sikli (CNO) asosiy energiya manbai bo'ladi. Eng massiv yulduzlarda massaning 50% konveksiyalanadi. Vodorodni to'la yonish vaqti massasi $M \cong 1 M_{\odot}$ bir quyosh massasiga teng yulduzlarda 10^{10} yil, $M \cong 50 M_{\odot}$ - yulduzlarda $3 \cdot 10^6$ yil. Jadvaldan ko'rinib turipti, boshqa reaksiyalar hisobiga yulduzni yashash vaqti umumiy yashash vaqtini 10% dan oshmaydi. Shuning uchun G-D diagrammada ko'pchilik yulduzlar o'rni bosh ketma-ketlikdir (BKK). Vodorodni yonishi o'zak moddasini o'rtacha 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 mllyard 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 gravitasion kollaps ro'y beradi. Kollaps natijasida zichlik 10^{12} g/sm^3 ga yetadi va modda neytrallashadi¹³. 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'liq ro'y beradi va u tashqi tomon tarqaladi va qobuqni uloqtirib yuboradi (o'tayangi yulduz).

Yulduzlarda metallarning o'rni

Qora tuynuklar – bu fazo-vaqtning shunday soxasiki, kuchli gravitasion maydon hisobiga u yerni xatto yorug'lik tezligida xarakatlanuvchi zarralar, shuningdek yorug'lik kvantlari ham tark eta olmaydilar. Ushbu sohaning chegarasi xodisalar gorizonti deb ataladi, uning o'lchami esa gravitasion radius deyiladi. Eng sodda holda – sferik-simmetrik qora tuynuklar uchun ushbu o'lcham Shvarsschild radiusiga teng. Nazariy jixatdan bunday ob'yektlarning mavjudligi Eynshteyn tenglamalarining ba'zi aniq yechimlari tomonidan kelib chiqadi. Bunday yechimlarning birinchisi Karl Shvarsschild tomonidan 1915 yili topilgan¹⁴.

Zamonaviy fan bizgaso'nuvchi massiv yulduzlar bilan bog'liq ko'pgina hayratomus hodisalarni tanishtiradi. Ularni million yillar davomida saqlab kelgan yonilg'isining yetarli bo'lmay qolishi bilan yulduz ortiq muvozanat holatini saqlab qola olmaydi va o'z og'irligi ta'sirida markazi tomon siqiladi, ya'ni kollapsga uchraydi. Inson hayotiga o'hshab yulduzlar ham o'zining yashash sikliga ega. Ular chang bulutlarida tug'iladi, o'sadi va million yillar yorug'lik sochib parlanadi va o'ladi. Yulduz o'zining dastlabki bosqichlarida hosil bo'lgan vodoroddan, keyin bosqichlarda geliydan va nihoyat og'ir elemenlardan iborat ichki yonilg'isi xisobiga yorug'lik sochadi. Har bir yulduz o'zining markazga tortuvchi gravitatsiyasi va unga qarama qarshi yo'nalishlardagi ichki bosim kuchlari bilan muvozanatga ega. Bu muvozanat yonilg'i temirga aylanadigan vaqtgacha saqlanadi. Gravitatsiya bosim kuchlaridan kattalashadi va yulduz siqila boshlaydi.

Oq mittilar, neytron yulduzlar va qora tuynuklar. Ma'lumki, yulduz energiya zahirasi juda katta bo'lishiga qaramay bu energiya vaqt o'tishi bilan bosqichma-bosqich yaroqsizlashib boradi. Yulduzlar xuddi insonlarga o'hshab yashaydi, qariydi va o'ladi. Ularning yashash vaqti- paydo bo'lganidan to yadro yonilg'i resurslari yulduz bo'lib nur sochib turishiga yetarli bo'lmay qolishigacha bo'lgan vaqtdir. Bu vaqt har bir yulduzning massasiga bog'liqdir. Xususan, eng yaqin yulduz- bu 5 mllyard yillardan beri yadro sintezi jarayoni xisobiga xozirda o'zining aktiv bosqichida bo'lgan Quyoshdir va uning yonilg'i zahirasi yana 5

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

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

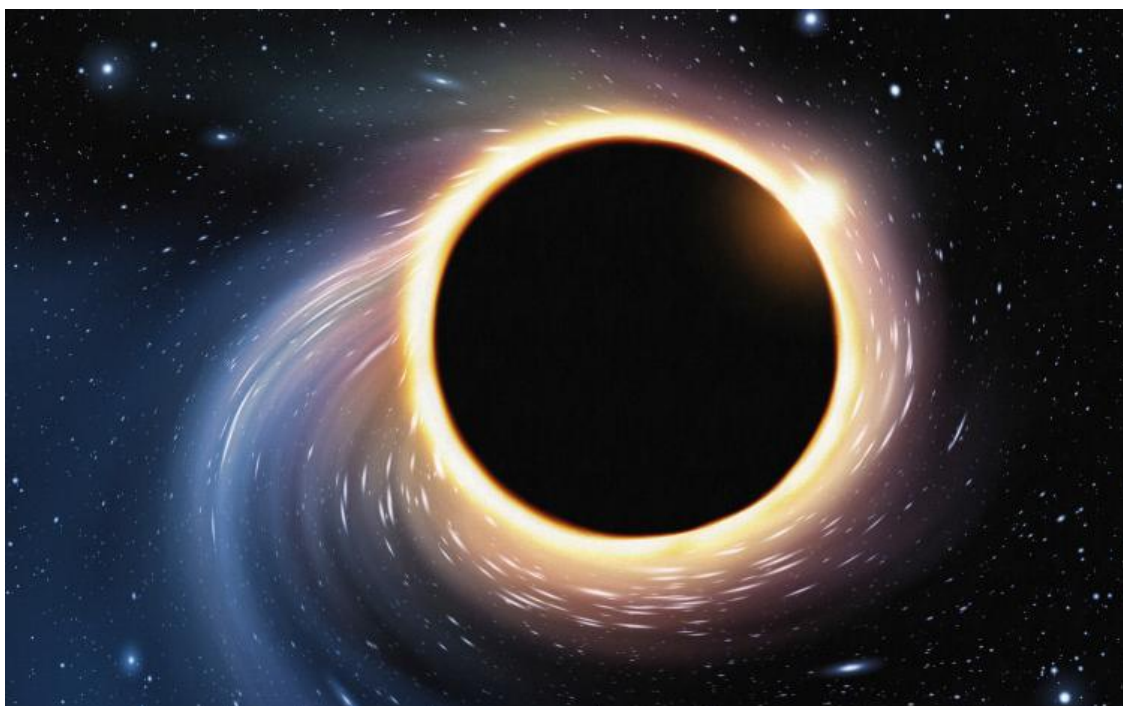
milliard yilga yetadi¹⁵. Quyosh o'z yonilg'isini sarflab tugatayotgan bosqichda o'zining gravitatsiyasi hisobidan Yer sayyorasi o'lchamidan katta bo'lmagan o'lchamgacha siqiladi. Bunda u xosil bo'lgan elektron gaz bosimi bilan muvozanatlashgandan so'ng siqilishdan to'htab oq mittiga aylanadi. Massasi Quyosh massasidan 3-5 marta katta bo'lgan Yulduzlar o'z umrini boshqachaneutron yulduzlarga aylangan holda yakunlaydi, bunda gravitatsiya shunday kuchliki elektronlarni atom yadrosiga joylashtiradi. Endi ichki bosim kuchi elektron gaz bosimi emas balki neytronlar bosimi xisobiga gravitatsiya kuchlarini muvozanatlaydi va 10 km gacha siqilib boradi.

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

Nazariy jihatdan yulduzlar dastlabki massalariga bog'liq holda uch hil ko'rinishda hayotini yakunlaydi: 1. Agar yulduz yadrosining dastlabki massasi Chandrasekar chegarasi deb ataladigan (tahminan) 1.4 Quyosh massasidan kichik bo'lsa qisqa vaqt qizil gigant holatidan keyin oq mittiga aylanadi. Oq mitti holida bir kecha million yillar yashab sovuq qora mittiga, ya'ni haqiqiy kosmik o'lik jism-yulduzning murdasiga aylanadi. 2. Agar yulduzning dastlabki massasi Chandrasekar chegarasidan oshib Volkov chegarasi deb ataladigan tahminan 2-3 Quyosh massasidan katta bo'lsa, yadro yonilg'isining asosiy qismi kamayishidan keyin elektron gazning bosimi qarshilik qila olmagach gravitatsiya kuchlari ta'siri ostida tashqi qatlami yulduzning markaziga tushadi. Buning natijasida yulduz hajmi 100000 marta kamayadi, uning o'rtacha zichligi shuncha marta ortadi, radiusi esa atigi 10km atrofida bo'ladi. Deyarli shu bilan birgalikda yulduzning ustki qatlami portlash natijasida 10 000 km/s tartibidagi katta tezlik bilan har tomonga otilib ketadi. Bu hodisa markazida neytron yulduz hosil bo'lishi bilan yakunlanuvchi o'ta yangi yulduzning portlashidek kuzatiladi¹⁶. Bu Xitoy va Yapon tarixida aytib o'tilgan 1054 yilda xozirda markazida neytron yulduz joylashgan Kraborid tumanligi o'rnida yorqin yulduz kabi yarqirab, ikki hafta davomida hattoki kunduzlari ham ko'rinib turgan. 3. Kollapsga uchrayotgan yulduzning massasi kandaydir kritik qiymatdan katta bo'lsa (3 Quyosh massasidan) gravitatsiya shunchalik katta bo'ladiki buni hech narsa to'htata olmaydi. Gravitatsiya kuchlari yulduzni tashkil qiluvchi moddalarni shunday siqib boradiki bunda yulduz o'lchami eng kichik o'lchamgacha kichrayadi.

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

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



1-rasm. Qora tuynuklarning rasmlari.

Bu uchala kompakt ob'yektlar oddiy yulduzlardan ikkita fundamental belgi bilan farqlanadi. Birinchidan, yadro yonilg'isini sarflab ular gravitasion kollapsga termodinamik bosim hisobidan qarshilik ko'rsatadi. Oq mittilar gravitasion kollapsga elektron gaz bosimi bilan qarshilik qiladi, neytron yulduzlar- neytronlar bosimi bilan. Qora tuynuklar esa- o'zining gravitatsiya kuchlariga qarshilik qila olmasdan yanoga bir nuqtagacha siqilib borgan. Uchala kompakt ob'yektlar Koinotning yoshi tartibidagi davrda turg'un ob'yektlar hisoblanidi. Ularni yulduzlarning eng oxirgi bosqichidagi ob'yekt deb hisoblash mumkin. Ikkinchi

farqi- oddiy o‘zlarining massasi tartibidagi yulduzlarning o‘lchamlariga nisbatan ancha kichikligidir¹⁷.

Gersshprung-Rassel diagrammasi

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

Neytron yulduzlari tarixi esa aksincha, 1934 yil Baade va Svikki neytron yulduzlar –yuqori zichlikka, kichik radiusga va boshqa oddiy yulduzlarga nisbatan kuchli gravitatsiyaga ega bo‘lgan yulduzlar g‘oyasini taklif qiladi. Neytron yulduzlar aslida astronomlar tomonidan kashf etilgunga qadar nazaraiyotchilar tomonidan bir asr oldin qalam uchida kashf qilingan. Ularning astronomik kuzatuvlarda topilishi bunchalik kechikishining sababi tez oradi to‘liq tushinarli bo‘ldi. Agar kosmik jismning radiusi 10km bo‘lsa hattoki ungacha masofa eng yaqin yulduzgacha (Quyoshdan tashqari) masofaga (10 yorug‘lik yili) teng bo‘lsa ham uni eng qudratli teleskop yordamida ham kuzatish mumkin emas. Va hattoki neytron yulduzgacha masofa mumkin qadar kichik bo‘lsa ham! Bundan kelib chiqadiki neytron yulduzlarni optik usullar bilan kuzatishlar muvofaqqiyatga uchraydi.

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

Yulduzni shunday radiusgacha siqib boramizki, bunda undan fazoga yorug‘lik tarqilmaydi. Bu radius Shvarsschild radiusi deyiladi. Quyosh uchun bu 3 km atrofida. Agar Quyosh ham 3 km va undan kichik o‘lchamgacha siqilsa yorug‘lik nurlari Quyosh tashqarisiga chiqa olmaydi. Qora tuynukga aylangan osmon jismlari Koinotda yo‘qolib ketmaydi. U o‘zi haqida tashqi olamga o‘zining gravitatsiyasi hisobidangina ma’lumot beraldi. Qora tuynuk yaqinidan o‘tgan

¹⁷L. Rezzolla, O. Zanotti, Relativistic Hydrodynamics, Oxford University Press, 2013, 752 p.

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

¹⁹Бочкарев Н.Г.Б Магнитные поля в космосе, М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2011. – 216 с.

yorug'likni yutadi (u Shvarsschild radiusidan kichik masofalargacha yaqinlashsa) va yonidan o'tayotgan nurlarni sezilarli masofalargacha og'diradi.

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

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

Shu o'rinda birinchi navbatda mashhur fizik, astrofizika va nazariy fizika sohasida ko'pgina yorqin ishlar muallifi, bir vaqtlar Isaak Nyuton va Pol Diraklar raxbarlik qilgan Kembridje Universiteti kafedrasida a'zosi Stiven Xokingni ta'kidlab o'tish joiz. Uning izlanishlarining asosiy ob'yekti bu qora tuynuklar fizikasidir. Uning asarlari orasida "Vaqtning qisqacha tarixi" kitobi eng sodda tilda fizikaning qiyin va dolzarb muammolarini hammaga tushinarli qilib yozilgan. Bu Xoking haqida hammasi emas. U juda og'ir kasal bo'lib uning xozirda faqtgina ikkita o'ng qo'l barmoqlari harakati saqlab qolingan va oxirgi 30 yil davomida gapirishdan ham mahrum bo'lgan. U atrofida gilari bilan nutq sinezatori va kompyuter yordamida gaplashadi. Shunga qaramasdan, u foal va dohiyona ilmiy izlanishlar olib bormoqda.

1974 yilda Stiven Xoking qora tuynuklar atrofida vakuumdan zarralarning paydo bo'lishi ko'rib chiqadi. Uning hisoblashlari shuni ta'kidlaydiki aylanuvchi

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

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

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

Xoking xisolashlaridan yana shuni ko'rish mumkin: agar qora tuynuk to'liq nurlanib ketsa, uning holati to'g'risida ma'lumot uzoqdagi kuzatuvchi uchun butunlay yo'qoladi. Bu klassik nazariya doirasida to'g'ri. Boshqa tomndanqora tuynukning "bug'lanishi" xisobidan yo'qotilgan axborot kvant mexanikasining axborot mavjudligining to'g'risidagi unitarlik tamoyiliga zid va uni aniqlash qiyin. Faraz qilaylik, bizda ikkita o'ng qizil paypoq va chap ko'k paypoq bor. Agar biz chap ko'k paypoqni qora tuynukga tashlasak va kimdir o'ng qizil paypoqni juftisiz topib olsa va u o'ylaydiki chap qizil paypoqni qora tuynukga tashlagan deb taxmin qiladi ya'ni modomiki hech qanday axborot qora tuynukdan chiqib ketolmas ekan uzoqdagi kuzatuvchi uning ichida nima borligini bila olmaydi²².

Shunday qilib, qora jismning nurlanishi uning ichki tuzilishi to'g'risida hech qanday axborot olib chiqmaydi, demak Xokingning kashfiyoti ham qora tuynukga tushib qolgan jism haqida biror narsa bilishimizga yordam bera olmaydi. Boshqa so'z bilan aytganda, Xoking takidlayotgan qora tuynukning nurlanishi uning ichki tuzilishi to'g'risida bizga ma'lumot bermaydi. Bu Xoking tomonidan kiritilgan axborotni yo'qolish paradoksi deyiladi. U shuni ta'kidlaydiki, bizning Koinotdan axborot yo'qolar ekan boshqa joyda paydo bo'ladi. Lekin, kvant nazariyasiga binoan qora jismga yutilgan axborot to'la yo'qoladi²³.

Hulosa o'rnida shuni takidlash joizki, qora tuynuklar– o'zida ko'plab sinoat yashirib kelayotgan Koinotning jumboqli ob'yektlaridir. Ko'pgina baxs va munozalarga sabab bo'layotgan ko'p sonli paradoks va muammolarga qaramasdan

²¹T. Padmanabhan, *Theoretical Astrophysics, Volume I-III*, Cambridge University Press, 2010.

²²L. Rezzolla, O. Zanotti, *Relativistic Hydrodynamics*, Oxford University Press, 2013, 752 p.

²³Max Camenzind, *Compact Objects in Astrophysics*, Springer, 2007, 682 p.

ishonch bilan aytish mumkinki, hozirda javobsiz qolayotgan savollar kelajakda o'z javobini topadi.

Nazorat savollari:

1. Koinotda yulduzlarning paydo bo'lishi va evolyusiyasi.
2. Qizil gigant.
3. Yulduzlarning temperaturasi
4. Vin siljish qonuni
5. Yulduzlarning spektral klassifikatsiyasi
6. Gersshprut-Rassel diagrammasi.
7. Rang ko'rsatkichini o'lchash.
8. Spektral chiziqlar intensivligini o'lchash.
9. Yulduzlar spektri.
10. Yulduzlarning evolyusiyasi.

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 Magnitnyye polya v kosmose, M.: Knizhnyy 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/)

IV. AMALIY MASHG'ULOT MATERIALLARI

1- AMALIY MASHG'ULOT: PROTOYULDUZNING VUJUDGA KELISHI VA UNING SHARTLARI

Protoyulduzning vujudga kelishi va uning shartlari. Olamning rivojlanishidagi hal qiluvchi bosqichlar. Yulduzlarda moddalarining shakllanishi va ularning koinot bo'ylab taqsimlanishi haqida.

Molekulyar bulutlarning gravitatsion siqilishi.

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

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

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

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

Protoyulduz rivojlanishining keyingi bosqichida markaziy qism tobora zichlashib, nurlanish orqali energiya yo'qotish qiyinlashadi. Natijada, nurlanish bosimi hosil

bo‘lib, bu bosim gaz va chang moddasining yanada siqilishiga qarshilik ko‘rsatadi. Shu nuqtada protoyulduzning ichki qismida harorat 10 million kelvingacha yetishi mumkin, bu esa vodorod atomlarining termoyadro reaksiyalariga kirishishi uchun zarur sharoitni yaratadi.

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

Protoyulduzlarning shakllanishi uchun zarur shartlar

Protoyulduzlarning shakllanishi bir qancha fizikaviy va kimyoviy omillarga bog‘liq bo‘lib, ular gravitatsion beqarorlik, termodinamik muvozanat va tashqi ta’sirlarni o‘z ichiga oladi. Ushbu shartlar yetarlicha bajarilmasa, molekulyar bulutlardan yulduz hosil bo‘lish jarayoni to‘xtashi yoki kechikishi mumkin.

Gravitatsion beqarorlik va Jeans mezon

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

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

bu yerda:

- k — Boltsman doimiysi,
- T — bulutning harorati,
- G — gravitatsion doimiysi,

- m — gaz molekulalarining oʻrtacha massasi,
- ρ — gaz zichligi.

Agar molekulyar bulutning massasi Jeans massasidan kichik boʻlsa, u gravitatsion kollapsga uchramaydi va dispersiyaga uchrashi mumkin. Agar massasi kattaroq boʻlsa, bulut tortishish kuchi ostida zichlashib, protoyulduz shakllanishi uchun asosiy shartlardan birini bajargan boʻladi.

Termodinamik va kimyoviy sharoitlar.

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

- **Harorat va bosim muvozanati:** Molekulyar bulutlar odatda **10-50 K** oraligʻida haroratga ega boʻlib, gazning siqilishi uchun yetarlicha past harorat talab etiladi. Agar harorat ortib ketsa, bosim kuchayib, kollapsga qarshilik kuchayadi.
- **Kimyoviy tarkib va sovish jarayoni:** Bulutdagi gaz tarkibidagi molekulalar (masalan, H_2 , CO va chang zarralari) nurlanish orqali energiyani yoʻqotish va bulutning sovishini taʼminlaydi. Sovish jarayoni qanchalik samarali boʻlsa, gravitatsion siqilish shunchalik tez amalga oshadi.
- **Metalliklik darajasi:** Kimyoviy tarkibdagi ogʻir elementlarning (C, O, Si) mavjudligi yulduz shakllanish jarayonini tezlashtirishi mumkin, chunki ular nurlanish orqali energiya tarqalishini kuchaytiradi.

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

- **Magnit maydonning tormozlovchi taʼsiri:** Molekulyar bulutlar oʻzining magnit maydoniga ega boʻlib, u gravitatsion kollapsni qisman sekinlashtirishi mumkin. Agar magnit maydon kuchli boʻlsa, u gazning kollapsga uchrashini kechiktiradi, natijada yulduz shakllanish jarayoni uzoqroq davom etadi.

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

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

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

Protoyulduz rivojlanish bosqichlari

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

1. Yopiq akkretsiya va moddaning jamlanishi

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

- **Akkretsiya diskining shakllanishi** Molekulyar bulut gravitatsion kollapsa uchraganda, uning ichidagi modda bevosita yadroga tushib kelmaydi, balki burchak momentining saqlanishi tufayli disk hosil qiladi. Ushbu disk orqali modda asta-sekin protoyulduzga oqib keladi.
- **Akkretsiya tezligi va energiya chiqarilishi** Akkretsiya jarayonida gaz va chang zarrachalari yadroga tushganida tortishish energiyasini yo'qotadi, bu esa

energiyaning issiqlik nurlanishi shaklida ajralishiga olib keladi. Ushbu nurlanish protoyulduz o'zining asosiy energiya manbai bo'lib xizmat qiladi.

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

2. Ichki yadroda termoyadro reaksiyalarining boshlanishi

Protoyulduz rivojlanishining muhim bosqichi uning markazida termoyadro reaksiyalarining boshlanishidir.

- **Kelvin-Helmholtz siqilishi** Protoyulduz markazida gravitatsion siqilish davom etishi natijasida harorat va bosim ortib boradi. Ushbu jarayon Kelvin-Helmholtz mexanizmi orqali bosqichma-bosqich energiya nurlanishi shaklida chiqarilishiga olib keladi.
- **Kritik haroratga yetishish** Protoyulduz markazidagi harorat taxminan **10 million K** ga yetganda, vodorod yadrolari geliy hosil qilish uchun termoyadro reaksiyalariga kirisha boshlaydi. Ushbu jarayon **proton-proton zanjiri** yoki og'irroq yulduzlar uchun **CNO tsikli** orqali amalga oshiriladi.
- **Energetik muvozanat va barqarorlik** Termoyadro reaksiyalari boshlangandan so'ng, yulduz ichidagi energiya ishlab chiqarish va tortishish kuchi muvozanatga keladi. Natijada, Kelvin-Helmholtz siqilishi sekinlashadi va yulduz o'zining asosiy ketma-ketlik bosqichiga o'tish uchun tayyor bo'ladi.

3. Tashqi qobiq va yulduz shamollari

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

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

- **Yulduz shamollari va bipolar oqimlar** Rivojlanayotgan protoyulduz kuchli **yulduz shamollari** chiqaradi. Ushbu shamollar atrofdagi moddaning bir qismini itarib chiqaradi va yulduzning shakllanish jarayonini yakunlaydi. Bundan tashqari, protoyulduz aksariyat hollarda **bipolar oqimlar** (proplydlar) hosil qiladi. Ushbu oqimlar yulduz atrofidagi chang va gazni tozalaydi, natijada yulduz yanada yaqqol koʻrinishga boshlaydi.
- **Barqarorlikka erishish** Yulduz shamollari va tashqi qobiqning toʻliq tarqalishi natijasida hosil boʻlgan yulduz muvozanatga erishadi va **asosiy ketma-ketlik** bosqichiga oʻtadi. Ushbu bosqichda u vodorod termoyadro sintezi orqali energiya ishlab chiqaruvchi barqaror yulduzga aylanadi.

Protoyulduzning yulduzga aylanishi va uning kelajakdagi evolyutsiyasi

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

Asosiy ketma-ketlikka oʻtish jarayoni

Protoyulduz oʻz atrofidan modda yigʻib, yetarlicha massa toʻplagach, uning markaziy qismida termoyadro reaksiyalari doimiy ravishda sodir boʻlishi uchun yetarli sharoit shakllanadi. Bu jarayon quyidagi asosiy bosqichlarni oʻz ichiga oladi:

- **Gravitatsion kollapsning yakunlanishi** Protoyulduz markazida termoyadro sintezi boshlanishi bilan yulduzning energiya chiqarishi kuchayadi. Ushbu energiya nurlanish bosimi orqali gravitatsion siqilishga qarshi muvozanat hosil qiladi. Natijada, yulduz barqaror shaklga ega boʻlib, **asosiy ketma-ketlik bosqichiga** oʻtadi.
- **Yadro muvozanatining oʻrnatilishi** Asosiy ketma-ketlik bosqichida yulduz vodorod atomlarini geliyga aylantirish orqali energiya ishlab chiqaradi. Ushbu jarayonda gravitatsion kuch va ichki nurlanish bosimi muvozanatga keladi. Bu bosqich **yulduzning eng uzun va barqaror hayotiy fazasi** boʻlib, yulduzning massasi va yadroda sodir boʻladigan reaksiyalar turiga bogʻliq holda davom etadi.

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

Ommaga bog'liq bo'lgan kelajak evolyutsiyasi

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

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

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

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

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

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

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

Yulduzlarning turli sinflarga ajralishi

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

Sinf	Harorat (K)	Rang	Misollar
O	30,000 - 50,000	Moviy	Rigel, Zeta Ophiuchi
B	10,000 - 30,000	Moviy-oq	Spika, Regulus
A	7,500 - 10,000	Oq	Siriy, Vega
F	6,000 - 7,500	Oq-sariq	Protsion, Canopus
G	5,200 - 6,000	Sariq	Quyosh, Alfa Centauri A
K	3,700 - 5,200	To'q sariq	Aldebaran, Arkturus
M	2,500 - 3,700	Qizil	Betelgeyze, Proxima Centauri

- **O va B sinf yulduzlari** juda issiq va yorqin bo'lib, ulardan ko'plab ultrabinafsha nurlanish tarqaladi.
- **A, F va G sinflar** o'rtacha harorat va yorqinlikka ega bo'lib, bu sinflarga Quyosh ham kiradi.
- **K va M sinflar** nisbatan past haroratli bo'lib, qizil rangda ko'rinadi va uzoq umr ko'radi.

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

Nazorat savollari:

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

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Arnab Rai Choudhuri, Astrophysics for Physics, Cambridge University Press, 2010, 471 p.
2. M. Camenzind, Compact Objects in Astrophysics, Springer, 2007, 682 p.
3. Sivuxin D.V, Kurs obshchey fiziki, uchebnoye posobiye dlya vuzov, t. 5 – Atomnaya i yadernaya fizika, 3-ye izdaniye, FIZMATIZ, 2011.
4. T. Padmanabhan, Theoretical Astrophysics, Volume I-III, Cambridge University Press, 2010.
5. L. Rezzolla, O. Zanotti, Relativistic Hydrodynamics, Oxford University Press, 2013, 752 p.
6. Povh, K.Rith, C.Scholz, F. Zetsche, Particles and nuclei. An introduction to the physical concepts. Springer, 2006.
7. Filchenkov M.L., Gravitatsiya, astrofizika, kosmologiya: dopolnitelnyye glavy, «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/](https://nuclphys.sinp.msu.ru/)

2- AMALIY MASHG'ULOT: GERSSHPRUNG-RASSEL KETMA-KETLIGINING ASOSIY TUSHUNCHALARI.

Gersshprung-Rassel ketma-ketligining asosiy tushunchalari. Astrofizika nuqtai-nazaridan yulduzlarda kechadigan jaryonlar. Yulduzlarning koinotda taqsimlanishi. Zamonaviy kuzatish asboblari.

Gersshprung-Rassel (H-R) diagrammasi astrofizikada yulduzlarning fizik xususiyatlarini o'rganishda asosiy vositalardan biri hisoblanadi. Bu diagramma birinchi marta **Eynar Gersshprung** va **Genri Norris Rassel** tomonidan ishlab chiqilgan bo'lib, yulduzlarning yorqinligi (L) va sirt harorati (T_{eff}) o'rtasidagi bog'liqlikni vizual tarzda ifodalaydi.

Gersshprung-Rassel diagrammasining asosiy o'qlari

H-R diagrammasi ikkita asosiy o'qdan iborat:

- **Gorizontal o'q (sirt harorati, T_{eff}):**
 - Bu o'q yulduzlarning sirt haroratini ifodalaydi va odatda **chapdan o'ngga kamayib boradigan tarzda** beriladi.
 - Harorat **Kelvin** (KKK) birliklarida o'lchanadi va uning qiymati **40,000 K dan 2,500 K gacha** bo'lishi mumkin.
 - Diagrammada **chap tomonda issiq (ko'k) yulduzlar, o'ng tomonda esa sovuq (qizil) yulduzlar** joylashgan bo'ladi.
- **Vertikal o'q (yorqinlik, L):**
 - Ushbu o'q yulduzning yorqinligini ifodalaydi, ya'ni yulduzning chiqargan nurlanish quvvati.
 - Yorqinlik **Quyosh yorqinligi ($L_{\odot}$) ga nisbatan logaritmik miqyosda** beriladi.
 - Pastki qismda **kam yorqinlikka ega oq mittilar**, yuqori qismda esa **supergigantlar** joylashgan.

Yulduzlarning spektral tasnifi va diagrammadagi joylashuvi

H-R diagrammasida yulduzlar haroratiga qarab **spektral sinflarga** ajratiladi. Bu tasnif **Harvard spektral tizimi** asosida quyidagicha beriladi:

Sinf	Harorat (K)	Rang	Misollar
O	30,000 - 50,000	Moviy	Rigel, Zeta Ophiuchi
B	10,000 - 30,000	Moviy-oq	Spika, Regulus
A	7,500 - 10,000	Oq	Siriy, Vega
F	6,000 - 7,500	Oq-sariq	Protsion, Canopus
G	5,200 - 6,000	Sariq	Quyosh, Alfa Centauri A
K	3,700 - 5,200	To‘q sariq	Aldebaran, Arkturus
M	2,500 - 3,700	Qizil	Betelgeyze, Proxima Centauri

H-R diagrammasining astrofizikadagi roli

- Yulduzlarning harorat va yorqinlik bo‘yicha **evolyutsion yo‘nalishlarini** aniqlash.
- Galaktikadagi yulduzlarning **populyatsion tahlilini** o‘tkazish.
- Yangi kashf etilgan yulduzlarning **qaysi bosqichda ekanligini** aniqlash.
- Ommaviy yulduz hosil bo‘lish hududlarini (masalan, **yosh yulduzlar to‘dasi**) o‘rganish.
- **Asosiy ketma-ketlik va yulduzlarning evolyutsion yo‘llari**

H-R diagrammasida **asosiy ketma-ketlik** (Main Sequence) eng muhim komponent hisoblanadi. Yulduzlarning aksariyati hayotining eng katta qismini aynan shu mintaqada o‘tkazadi.

Asosiy ketma-ketlik va vodorod yonish bosqichi

- Yulduzlar asosiy ketma-ketlikda bo‘lganida ularning yadrosida **vodorod geliyga aylanishi** natijasida termoyadro energiyasi hosil bo‘ladi.
- Bu bosqich **massaga bog‘liq holda bir necha milliondan milliard yilgacha** davom etadi.
- Katta massali yulduzlar (**O va B sinf**) vodorodni tezroq sarflab, qisqa umr ko‘radi.
- Kichik massali yulduzlar (**K va M sinf**) esa uzoq umr ko‘radi va termoyadro yonishi juda sekin kechadi.

Yulduzlarning diagrammadagi harakati

- **Past massali yulduzlar** (qizil mittilar) juda uzoq vaqt asosiy ketma-ketlikda qoladi.

- **O‘rtacha massali yulduzlar** (Quyosh) qizil gigant bosqichiga o‘tib, diagrammada yuqoriga va o‘ngga harakatlanadi.
- **Katta massali yulduzlar** juda qisqa umr ko‘rib, supergigant bosqichiga o‘tadi va keyinchalik portlab, neytron yulduz yoki qora tuynukka aylanadi.

Gigantlar, oq mittilar va supergigantlar

- **Qizil gigantlar:** Yorqin va sovuq yulduzlar, masalan, Betelgeyze.
- **Oq mittilar:** Kichik, issiq, ammo past yorqinlikka ega yulduzlar, masalan, Siriy B.
- **Supergigantlar:** Juda katta massali va yorqin yulduzlar, masalan, Rigel va Antares.

H-R diagrammasi orqali yulduzlarning kelajak evolyutsiyasini bashorat qilish

Yulduzlarning **boshlang‘ich massasi** ularning kelajakdagi taqdirini belgilaydi.

Yulduzlarning asosiy bosqichlari va evolyutsion harakati

- **Past massali yulduzlar** (M sinf): uzoq umr ko‘rib, asta-sekin oq mittiga aylanadi.
- **O‘rtacha massali yulduzlar** (Quyosh singari): qizil gigant bosqichidan o‘tib, oq mitti va planetar tumanlik hosil qiladi.
- **Yuqori massali yulduzlar:** supernova portlashi orqali neytron yulduz yoki qora tuynuk hosil qiladi.

Yulduzlar turiga qarab o‘lim ssenariylari

Yulduz massasi	Yulduzning yakuni
$M < 8M_{\odot}$	Oq mitti + Planetar tumanlik
$8M_{\odot} < M < 25M_{\odot}$	Supernova + Neytron yulduz
$M > 25M_{\odot}$	Supernova + Qora tuynuk

H-R diagrammasi asosida galaktikadagi yulduzlarning taqsimoti va kashfiyotlar

- Galaktikaning turli hududlarida yulduzlarning yoshini aniqlash.
- O‘ta yangi yulduzlarning paydo bo‘lish hududlarini bashorat qilish.
- Sayyora sistemalarining shakllanishi va hayot uchun mos zonalarini o‘rganish.

Gersshprung-Rassel diagrammasi yulduzlarning fizik xususiyatlarini, evolyutsiyasini va kelajakdagi o‘zgarishlarini tushunish uchun asosiy vosita

hisoblanadi. Yulduzlar massasi ularning **evolyutsion yo'llarini** belgilaydi, bu esa astrofizikada yulduzlar hayoti va o'limi haqida aniq bashorat qilish imkonini beradi.

Nazorat savollari:

1. Asosiy ketma-ketlikdagi yulduzlarning termoyadro energiya ishlab chiqarish jarayoni qanday farqlanadi va bu jarayonga massaning ta'siri qanday?
2. Yulduzlarning asosiy ketma-ketlikdan keyingi evolyutsion harakati ularning massasi bilan qanday bog'liq va bu jarayon H-R diagrammasida qanday namoyon bo'ladi?
3. Qizil gigantlar, oq mittilar va supergigantlar H-R diagrammasida qayerda joylashgan va ularning asosiy fizik xususiyatlari qanday?
4. Oq mittilar qanday yulduzlarning qoldig'i hisoblanadi va ularning issiqlik nurlanishi bilan bog'liq uzoq muddatli evolyutsiyasi qanday kechadi?

V. KEYSLAR BANKI

Mini-keys 1.

«Ekspert kengashi: intilish va yuksalish?»

Tinglovchilarni bilimini baholashda ularni bilishi talab etilgan me'yor 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.

“Yulduzlarning yashash davrlarini Gersshprung-Ressel diagrammasi yordamida aniqlash”

Gersshprung-Ressel diagrammasi yulduzlar yorqinligi yoki temperaturasining uning massasiga bog'lanishini ifodalaydi. Kuzatuvlar natijasida olingan yorqinlik yordamida va diagrammadan foydalangan xolda uning massasini aniqlash mumkin bo'ladi. Yulduzlarning yashash davri ularning massalariga teskari proporsional ravishda bog'langan. Yulduzning massasi qanchalik katta bo'lsa, uning yashash davri shunchalik kichik bo'ladi.

Nega yulduzlar yashash vaqti ularning massasiga teskari proporsional ravishda bog'liq? Yulduzlardagi termoyadreaksiyalarining kechish samaradorligi uning massasiga qanday bog'liq?

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 (assesment).



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:

- me'yoriy 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 turli modellari.
3. Yulduzlardagi reaksiyalarning kesimlari.
4. Yulduzlar klassifikatsiyasi va kataloglari.
5. Galaktikalar kataloglari.
6. Gravitasion linza sistemalari.
7. Pulsarlar va magnetarlar.
8. Kosmologiyada magnit maydonlar.
9. Yulduz paydo bo'lishida magnit maydonining roli.
10. Elementar zarralarning kashf etilish tarixi.
11. Dunyodagi katta tezlatgichlar to'g'risida ma'lumotlar.
12. Dunyodagi katta radioteleskoplar to'g'risida ma'lumotlar.

VII.GLOSSARIY

Termin	O'zbek tilidagi sharxi	Ingliz tilidagi sharxi
Astronomiya	Osmon jismlarni o'rganadigan tabiiy fan	Astronomy (from Greek: $\alpha\sigma\tau\rho\nu\nu\omicron\mu\iota\alpha$, literally meaning the science that studies the laws of the stars) is a natural science that studies celestial objects and phenomena.
Astrofizika	Osmon jismlarni va jarayonlarni fizik metodlar va prinsiplar orqali o'rganadigan fan	Astrophysics is a science that employs the methods and principles of physics in the study of astronomical objects and phenomena.
Adronlar	Kuchli o'zaro ta'sirda ishtirok etuvchi elementar zarralar	In particle physics, a hadron is a composite particle made of quarks held together by the strong force in a similar way as the electromagnetic force holds molecules together.
Adronlarning kvark modellari	adronlarning elementar tashkil etuvchilar – kvarklarning bog'langan tizimidan iborat deb qaraluvchi modeli.	A quark is an elementary particle and a fundamental constituent of matter. Quarks combine to form composite particles called hadrons, the most stable of which are protons and neutrons, the components of atomic nuclei. Due to a phenomenon known as color confinement, quarks are never directly observed or found in isolation; they can be found only within hadrons, such as baryons (of which protons and neutrons are examples), and mesons.
Bozon	butun sonli spinga ega bo'lgan zarracha	In quantum mechanics , a boson is a particle that follows Bose–Einstein statistics . Bosons make up one of the two classes of particles , the other being fermions . The name boson was coined by Paul Dirac ^[4] to commemorate the contribution

		of the Indian physicist Satyendra Nath Bose^{[5][6]} in developing, with Einstein, Bose–Einstein statistics—which theorizes the characteristics of elementary particles. Bosons are integer spin particles.
Buyuk birlashuv	kuchli, kuchsiz va elektromagnit o‘zaro ta’sirlarning yagona tabiatiga ega ekanligi haqidagi tasavvurga asoslangan fundamental fizikaviy hodisalarning nazariy modeli	Great integration of the fundamental interactions, also known as fundamental forces, are the interactions in physical systems that do not appear to be reducible to more basic interactions. There are four conventionally accepted fundamental interactions—gravitational, electromagnetic, strong nuclear, and weak nuclear. Each one is understood as the dynamics of a <i>field</i>. The gravitational force is modelled as a continuous classical field. The other three are each modelled as discrete quantum fields, and exhibit a measurable unit or elementary particle.
Vaynberg-Salam nazariyasi	elektromagnit va kuchsiz o‘zaro ta’sirlarning birlashgan nazariyasi.	Electromagnetic and weak interactions unified theory. In particle physics, the electroweak interaction is the unified description of two of the four known fundamental interactions of nature: electromagnetism and the weak interaction. Although these two forces appear very different at everyday low energies, the theory models them as two different aspects of the same force. Above the unification energy, on the order of 100 GeV, they would merge into a single electroweak force.
Galaktika	yulduzlar, yulduz turkumlari,	Stars, constellations, interstellar gas and dust, and dark matter to

	yulduzlararo gaz va chang, xamda qorong‘i moddadan iborat gravitasion bog‘langan tizim	gravitationally bound system. The Milky Way is the galaxy that contains our Solar System. Its name "milky" is derived from its appearance as a dim glowing band arching across the night sky whose individual stars cannot be distinguished by the naked eye.
Gamma-Astronomiya	turlicha kosmik manbalarini ularning gamma diapazonidagi (to‘lqin uzunliklari $\lambda < 10^{-12}\text{m}$, foton energiyasi esa $\varepsilon > 10^5\text{эВ}$ bo‘lgan) elektromagnit nurlanishlari bo‘yicha o‘rganuvchi astronomiya bo‘limi.	Gamma-ray astronomy is the astronomical observation of gamma rays,^[nb 1] the most energetic form of electromagnetic radiation, with photon energies above 100 keV. Radiation below 100 keV is classified as X-rays and is the subject of X-ray astronomy. September 02 2011 Fermi Second catalog of Gamma Ray Sources constructed over 2 years. An all sky image showing energies greater than 1 billion electron volts (1 GeV) ub. Brighter colors indicate gamma-ray sources. Gamma rays in the MeV range are generated in solar flares (and even in the Earth's atmosphere), but gamma rays in the GeV range do not originate in the Solar System and are important in the study of extrasolar, and especially extra-galactic astronomy.
Glyuon	birga teng spinli va nolga teng tinchlik massali hamda kvarklar orasidagi kuchli o‘zaro ta’sirni tashuvchi elektrik neytral zarra.	Gluons are elementary particles that act as the exchange particles (or gauge bosons) for the strong force between quarks, analogous to the exchange of photons in the electromagnetic force between two charged particles.^[6] In layman terms, they "glue" quarks together, forming protons and neutrons.

		In technical terms, gluons are vectorgauge bosons that mediate strong interactions of quarks in quantum chromodynamics (QCD). Gluons themselves carry the color charge of the strong interaction.
Yorug'lik yili	astronomiyada qo'llaniladigan uzunlik birligi; yorug'lik bir yilda bosib o'tadigan masofaga teng. (1 Yo.y. = $9,4605 \cdot 10^{15}$m)	A light-year (or light year, abbreviation: ly) is a unit of length used informally to express astronomical distances. It is approximately 9 trillionkilometres (or about 6 trillion miles). As defined by the International Astronomical Union (IAU), a light-year is the distance that light travels in vacuum in one Julian year (365.25 days). Because it includes the word <i>year</i>, the term <i>light-year</i> is sometimes misinterpreted as a unit of time.
Inflaton	Boshlang'ich koinotni yaratuvchi skalyar zarracha va maydon.	The inflaton field is a hypothetical scalar field which is conjectured to have driven cosmic inflation in the very early universe.
Kuchsiz o'zaro ta'sir	bir necha attometr (dan (10^{-18}m)) kichik masofalarda elementar zarralar orasidagi o'zaro ta'sir; bunday o'zaro ta'sir xususan atom yadrolarining beta yemirilishiga olib keladi.	In particle physics, the weak interaction is the mechanism responsible for the weak force or weak nuclear force, one of the four known fundamental interactions of nature, alongside the strong interaction, electromagnetism, and gravitation. The weak interaction is responsible for the radioactive decay of subatomic particles, and it plays an essential role in nuclear fission. The theory of the weak interaction is sometimes called quantum flavordynamics (QFD), in analogy with the

		terms QCD and QED , but the term is rarely used because the weak force is best understood in terms of electro-weak theory (EWT).
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."
Kvarklar	hozirga tasavvurga ko'ra barcha adronlarning tarkibiy qismlarini tashkil qiluvchi fundamental zarrachalar.	A quark (/'kwɔ:rk/ or /'kwa:rk/) is an elementary particle and a fundamental constituent of matter . Quarks combine to form composite particles called hadrons , the most stable of which are protons and neutrons , the components of atomic nuclei . ^[1] Due to a phenomenon known as color confinement , quarks are never directly observed or found in isolation; they can be found only within hadrons, such as baryons (of which protons and neutrons are examples), and mesons . For this reason, much of what is known about quarks has been drawn from observations of the hadrons themselves.
Koinot	moddiy dunyoning kuzatish mumkin	part of the material world that can be observed. The Universe

	boʻlgan qismi.	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 billionparsecs (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.
Kollayder	zaryadlangan zarralarning qarama – qarshi dastalarining uchrashuvi yuz beradigan tezlatgich.	A collider is a type of particle accelerator involving directed beams of particles . Colliders may either be ring accelerators or linear accelerators , and may collide a single beam of particles against a stationary target or two beams head-on. Colliders are used as a research tool in particle physics by accelerating particles to very high kinetic energy and letting them impact other particles. Analysis of the byproducts of these collisions gives scientists good evidence of the structure of the subatomic world and the laws of nature governing it. These may become apparent only at high energies and for tiny periods of time, and therefore may be hard or impossible to study in other ways.
Kosmik radionurlanish	kosmik obektlarning radiotoʻlqinlar 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 o‘zaro ta’sir	bir nechta femtometrdan (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.
Leptonlar	kuchli o‘zaro ta’sirda ishtirok etmaydigan elementar zarralarning umumiy nomi.	A lepton is an elementary, half-integer spin (spin $\frac{1}{2}$) particle that does not undergo strong interactions.^[1] Two main classes of leptons exist: charged leptons (also known as the electron-like leptons), and neutral leptons (better known as neutrinos). Charged leptons can combine with other particles to form various composite particles such as atoms and positronium, while neutrinos rarely interact with anything, and are consequently rarely

		observed. The best known of all leptons is the electron .
Maydon yagona nazariyasi	elementar zarralar xossalari va o'zaro ta'sirlarining barcha xilma – xilligini uncha kam sonli universal tamoyillarga keltirishga qaratilgan materiyaning yagona nazariyasi.	In physics, a unified field theory (UFT), occasionally referred to as a uniform field theory,^[1] is a type of field theory that allows all that is usually thought of as fundamental forces and elementary particles to be written in terms of a single field. There is no accepted unified field theory, and thus it remains an open line of research. The term was coined by Einstein, who attempted to unify the general theory of relativity with electromagnetism. The "theory of everything" and Grand Unified Theory are closely related to unified field theory, but differ by not requiring the basis of nature to be fields, and often by attempting to explain physical constants of nature.
Myuonlar	massasi elektron massasidan taqriban 207 marta katta va elektromagnit hamda kuchsiz o'zaro ta'sirlarda ishtirok etuvchi zaryadlangan elementar zarralar.	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 $2.2\ \mu\text{s}$. 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.

Neytron yulduzlar	yulduzlarning ichki tuzilishi nazariyasiga ko‘ra ozgina elektronlar aralashgan neytronlardan o‘ta og‘ir atom yadrolari va protonlardan tashkil topgan eng zich yulduzlar.	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.
Nukleosintez	yengilroq yadrolardan og‘irroq yadrolar hosil bo‘lishiga olib keluvchi yadroviy reaksiyalar zanjiri.	Nucleosynthesis is the process that creates new atomic nuclei from pre-existing nucleons, primarily protons and neutrons. The first nuclei were formed about three minutes after the Big Bang, through the process called Big Bang nucleosynthesis. It was then that hydrogen and helium formed to become the content of the first stars, and this primeval process is responsible for the present hydrogen/helium ratio of the cosmos. With the formation of stars, heavier nuclei were created from hydrogen and helium by stellar nucleosynthesis, a process that continues today.
Oq mittilar	massalari Quyosh massasi tarkibida bo‘lgan va radiuslari Quyosh radiusining	A white dwarf, also called a degenerate dwarf, is a stellar remnant composed mostly of electron-degenerate matter. A white

	~0,01 hissasini tashkil qiluvchi kichik yulduzlar.	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.
Parsek	astronomiyada ishlatiladigan uzunlik birligi; $1\text{pk}=3,0857 \cdot 10^{16}\text{m}$.	A parsec (symbol: pc) is a unit of length used to measure large distances to objects outside the Solar System . One parsec is the distance at which one astronomical unit subtends an angle of one arcsecond . ^[1] A parsec is equal to about 3.26 light-years (31 trillion kilometres or 19 trillion miles) in length. The nearest star, Proxima Centauri , is about 1.3 parsecs (4.24 light-years) from the Sun. Most of the stars visible to the unaided eye in the nighttime sky are within 500 parsecs of the Sun.
Pozitron	kattaligi jihatdan elektron zaryadiga teng musbat zaryadli, massasi	The positron or antielectron is the antiparticle or the antimatter counterpart of the electron . The positron has an electric charge of

	elektron massasiga teng bo'lgan elementar zarra, elektronga nisbatan antizarra.	+1 e , a spin of $\frac{1}{2}$, and has the same mass as an electron. When a low-energy positron collides with a low-energy electron, annihilation occurs, resulting in the production of two or more gamma rayphotons (see electron–positron annihilation). Positrons may be generated by positron emission radioactive decay (through weak interactions), or by pair production from a sufficiently energetic photon which is interacting with an atom in a material.
Fermion	yarim butun spinga ega bo'lgan zarracha.	In particle physics , a fermion (a name coined by Paul Dirac from the surname of Enrico Fermi) is any particle characterized by Fermi–Dirac statistics . These particles obey the Pauli exclusion principle . Fermions include all quarks and leptons , as well as any composite particle made of an odd number of these, such as all baryons and many atoms and nuclei . Fermions differ from bosons , which obey Bose–Einstein statistics . A fermion can be an elementary particle , such as the electron , or it can be a composite particle , such as the proton . According to the spin-statistics theorem in any reasonable relativisticquantum field theory , particles with integerspin are bosons , while particles with half-integer spin are fermions.
Xabbl doimiysi	ko'rinuvchi Koinotning kosmologik kengayishi tufayli gallaktikadan	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

	tashqari obektlarning uzoqlashishi tezliklari bilan ulargacha bo'lgan masofalar orasidagi bog'lanishlardagi mutanosiblik koeffitsiyenti.	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.
Yulduz turkumlari	birday yoshdagi va birgalikda vujudga kelgan gravtasion bog'langan yulduzlar guruhleri.	Star clusters or star clouds are groups of stars. Two types of star clusters can be distinguished: globular clusters are tight groups of hundreds or thousands of very old stars which are gravitationally bound, while open clusters, more loosely clustered groups of stars, generally contain fewer than a few hundred members, and are often very young. Open clusters become disrupted over time by the gravitational influence of giant molecular clouds as they move through the galaxy, but cluster members will continue to move in broadly the same direction through space even though they are no longer gravitationally bound; they are then known as a stellar association, sometimes also referred to as a <i>moving group</i>.

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, 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.
Qora o‘ra	gravitatsiya kuchlari jismni uning	A black hole is a region of spacetime exhibiting such strong

	gravitatsiyaviy radiusidan kichikroq o'lchamlargacha siqilishi natijasida yuzaga keluvchi kosmik ob'yekt.	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 .
Qorong'i modda	Borliqning 23% noma'lum moddasi.	Dark matter is a form of matter thought to account for approximately 85% of the matter in the universe and about 23% of its total mass–energy density.
Qorong'i energiya	Borliqning antigravitatsiya xususiyatiga ega 73% noma'lum energiyasi.	Dark energy is an unknown form of energy that affects and accelerates the universe on the largest scales.

VIII. ADABIYOTLAR RO'YXATI

I. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining asarlari

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

II. Normativ-huquqiy hujjatlar

1. O'zbekiston Respublikasining Konstitutsiyasi. – T.: O'zbekiston, 2023.
2. O'zbekiston Respublikasining 2020-yil 23-sentabrda qabul qilingan “Ta'lim to'g'risida”gi Qonuni.
3. O'zbekiston Respublikasining “Korrupsiyaga qarshi kurashish to'g'risida”gi Qonuni.
4. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2015-yil 12-iyundagi “Oliy ta'lim muassasalarining rahbar va pedagog kadrlarini qayta tayyorlash va malakasini oshirish tizimini yanada takomillashtirish to'g'risida”gi PF-4732-sonli Farmoni.
5. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2019-yil 27-maydagi “O'zbekiston Respublikasida korrupsiyaga qarshi kurashish tizimini yanada takomillashtirish chora-tadbirlari to'g'risida”gi PF-5729-son Farmoni.
6. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2019-yil 27-avgustdagi “Oliy ta'lim muassasalari rahbar va pedagog kadrlarining uzluksiz malakasini oshirish tizimini joriy etish to'g'risida”gi PF-5789-sonli Farmoni.
7. O'zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasining 2019-yil 23-sentabrdagi “Oliy ta'lim muassasalari rahbar va pedagog kadrlarining malakasini oshirish tizimini yanada takomillashtirish bo'yicha qo'shimcha chora-tadbirlar to'g'risida”gi 797-sonli Qarori.
8. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2019-yil 8-oktabrdagi “O'zbekiston Respublikasi oliy ta'lim tizimini 2030-yilgacha rivojlantirish konsepsiyasini tasdiqlash to'g'risida”gi PF-5847-sonli Farmoni.
9. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2020-yil 29-oktabr “Ilm-fanni 2030 yilgacha rivojlantirish konsepsiyasini tasdiqlash to'g'risida”gi PF-6097-sonli Farmoni.
10. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2021-yil 17-fevraldagi “Sun'iy intellekt texnologiyalarini jadal joriy etish uchun shart-sharoitlar yaratish chora-tadbirlari to'g'risida”gi PQ-4996-son Qarori.
11. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 28-yanvardagi “2022-2026 yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to'g'risida”gi PF-60-son Farmoni.

12. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2023-yil 25-yanvardagi “Respublika ijro etuvchi hokimiyat organlari faoliyatini samarali yo‘lga qo‘yishga doir birinchi navbatdagi tashkiliy chora-tadbirlar to‘g‘risida”gi PF-14-sonli Farmoni.

13. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2023-yil 11-sentabrdagi ““O‘zbekiston - 2030” strategiyasi to‘g‘risida”gi PF-158-son Farmoni.

14. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2024-yil 21-iyundagi “Aholi va davlat xizmatchilarining korrupsiyaga qarshi kurashish sohasidagi bilimlarini uzluksiz oshirish tizimini joriy qilish chora-tadbirlari to‘g‘risida” PQ-228-son Qarori.

III. Maxsus adabiyotlar

1. Oliy ta’limning meyoriy - huquqiy xujjatlari to‘plami. -T., 2013.

2. B.I.Ismailov, I.I.Nasriyev Korrupsiyaga qarshi kurashish bo‘yicha idoraviy chora-tadbirlarning samaradorligini oshirish masalalari//O‘quv-uslubiy qo‘llanma. - T.:O‘zbekiston Respublikasi Bosh prokuraturasi Akademiyasi, O‘zbekiston Respublikasi Sudyalar oliy kengashi. Sudyalar oliy maktabi, 2020.-272 b.

3. Юсуфжанов О., Усманова С. Зарубежный опыт противодействия коррупции. // -Т.: Адвокат, 2016. №5 - 59-62б.

4. O‘rinov V. O‘zbekiston Respublikasi oliy ta’lim muassasalarida ECTS kredit-modul tizimi: asosiy tushunchalar va qoidalar. O‘quv qo‘llanma. Nyu Bransvik Universiteti, 2020.

5. The European Higher Education Area. - Joint Declaration of the Ministers of Education. - Bologna, 1999, 19 June.

6. Shaping our Own Future in the European Higher Education Area // Convention of European Higher Education Institutions. - Salamanca, 2001, 29-30 march.

7. Виртуальная реальность как новая исследовательская и образовательная среда. Церфуз Д.н. и др. // ЖУРНАЛ Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России», 2015. – с.185-197.

8. Ibraymov A.YE. Masofaviy o‘qitishning didaktik tizimi. Metodik qo‘llanma. – T.: “Lesson press”, 2020. -112 б.

9. Игнатова Н. Ю. Образование в цифровую эпоху: монография. М-во образования и науки РФ. – Нижний Тагил: НТИ (филиал) УрФУ, 2017. – 128 с. http://elar.urfu.ru/bitstream/10995/54216/1/978-5-9544-0083-0_2017.pdf

10. Кирьякова А.В., Ольховая Т.А., Михайлова Н.В., Запорожко В.В. Интернет-технологии на базе LMS Moodle в компетентностно-ориентированном образовании: учебно-методическое пособие / А.В. Кирьякова, Т.А. Ольховая, Н.В. Михайлова, В.В. Запорожко; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2011. – 116 с. http://www.osu.ru/docs/fpkp/kiryakova_internet_technologies.pdf

11. Кононюк А.Е. Облачные вычисления. – Киев, 2018. – 621 с.

12. Oliy ta’lim tizimini raqamli avlodga moslashtirish konsepsiyasi. Yevropa Ittifoqi Erasmus+ dasturining ko‘magida. https://hiedtec.ecs.uniruse.bg/pimages/34/3_UZBEKISTAN-CONCEPT-UZ.pdf

13. Emelyanova O. A. Ta'limda bulutli texnologiyalardan foydalanish // Yosh olim. - 2014. - № 3. - S. 907-909.
14. Moodle LMS tizimida masofaviy kurslar yaratish. O'quv-uslubiy qo'llanma. – T.: Toshkent farmatsevtika instituti, 2017.
15. M.Xurramov. Oliy ta'lim muassasalari faoliyatiga sun'iy intellekt texnologiyasini joriy etish [Matn]: metodik qo'llanma / M.Xurramov. K.Xalmuratova. – T.: “Yetakchi nashriyoti”, 2024. – 28 b.
16. Тенденции и развития высшего образования в мире и в России. Аналитический доклад-дайджест. - М., 2021.- 198 с.
17. A.S. Zikriyoyev. Dunyo universitetlari reytingidagi tadqiqotchi olimlar orasida o'zingizni kashf qiling. -T.: Navro'z,2020. ISBN.9789943659285
18. Sherzod Mustafakulov, Aziz Zikriyoev, Dilnoza Allanazarova, Tokhir Khasanov, Sokhibmalik Khomidov. Explore Yourself Among World – Class Researchers. Grand OLEditor, Tashkent 2019, ISBN: 8175 25766-0.
19. Ackoff, Russell L., Scientific Method, New York: John Wiley & Sons, 1962.
20. Barzun, Jacques & Graff. F. (1990). The Modern Researcher, Harcourt, Brace Publication: New York.
21. Muslimov N.A va boshqalar. Innovatsion ta'lim texnologiyalari. O'quv-metodik qo'llanma. – T.: “Sano-standart”, 2015. – 208 b.
22. Muslimov N.A va boshqalar. Pedagogik kompetentlik va kreativ asoslari. O'quv-metodik qo'llanma. – T.: “Sano-standart”, 2015. – 120 b.
23. Печеркина, А.А. Развитие профессиональной компетентности педагога: теория и практика [Текст]: монография/А.А.Печеркина, Э.Э.Сыманюк, Е.Л.Умникова: Урал. гос. пед. ун-т.–Екатеринбург:[б.и.], 2011. – 233 с.
24. О.С. Фролова. Формирование инновационной компетенции педагога в процессе внутришкольного повышения квалификации. Дисс.к.п.н. Воронеж 2018.
25. Компетенции педагога XXI века [Электронный ресурс]: сб. материалов респ. конференции (Минск, 25 нояб. 2021 г.) / М-во образования Респ. Беларусь, ГУО «Акад. последиплом. образования», ОО «Белорус. пед. о-во». – Минск: АПО, 2021.
26. Ishmuhammedov R.J., M.Mirsoliyeva. O'quv jarayonida innovatsion ta'lim texnologiyalari. – T.: «Fan va texnologiya», 2017, 60 b.
27. Ishmuhammedov R, Mirsoliyeva M, Akramov A. Rahbarning innovatsion faoliyati. – T.: “Fan va texnologiyalar”, 2019.- 68 b.
28. Коджаспирова Г.М. Педагогика в схемах, таблицах и опорных конспектах./ -М.:Айрис-пресс, 2016.
29. Натанзон Э. Ш. Приемы педагогического воздействия.-М, 2012.-202 с.
30. Сергеев И.С. Основы педагогической деятельности: Учебное пособие. – СПб.: Питер, 2014.
31. Schmidt W., Völschow M. // Numerical Python in Astronomy and Astrophysics. A Practical Guide to Astrophysical Problem Solving, Springer, 2021. — 257 p. — ISBN 978-3-030-70346-2

32. Schneider P. Extragalactic Astronomy and Cosmology: An Introduction // 2nd ed. - Springer, 2015. - 626 pp.
33. Д.И. Нагирнер // Элементы космологии // С.-Петербург, 2001
34. С.Хокинг // Теория всего / Москва: АСТ, 2018. — 160 с.: ил.
35. Т.Ахунов, К.Миртаджијева // Astronomiyada kompyuter usullari (o'quv qo'llanma) // T.: "Universitet", 2024
36. Т.Ахмаджонов, М. Акрамов // Fizik jarayonlarni kompyuterda modellashtirish // T.: "Universitet", 2024
37. М.Акрамов, Т.Ахмаджанов // Fizik jarayonlarni kompyuterda modellashtirish, o'quv qo'llanma, T., 2024
38. Нагаева И.А., Кузнецов И.А. // Основы математического моделирования и численные методы, учебное пособие, Лань.: М. 2024, 204 с.
39. Peter Bodenheimer et al., // Numerical Methods in Astrophysics: An Introduction (Series in Astronomy and Astrophysics), CRC Press, 2007. — 330 p. — ISBN: 9780750308830
40. Слабнов В. Д. // Численные методы, учебное пособие, Лань.: М. 2024, 392 с.
41. A.A. Abdujabbarov, B.J. Ahmedov, Photons Motion and Optical Properties of Black holes, T., 2019, 184 pp.
42. Мизнер Ч., Торн К., Уилер Дж. Гравитация. Том 1. М.: Мир, 1977
43. Мизнер Ч., Торн К., Уилер Дж. Гравитация. Том 2. М.: Мир, 1977
44. Мизнер Ч., Торн К., Уилер Дж. Гравитация. Том 3. М.: Мир, 1977
45. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теория поля, М. Наука, 1967.
46. Шапиров С. Л., Тюкольский С. А. Черные дыры, белые карлики и нейтронные звезды. В 2 часа М., 1985 г.
47. Вайнберг С. Гравитация и космология. М.: Мир, 1975.
48. Фролов В., Новиков И. Физика черных дыр: основные понятия и новые разработки. Ключер, 1998 г.
49. Грабовский, Р.И. Курс физики: Учебник / Р.И. Грабовский. – СПб.: Лань, 2012. – 608 с.
50. Колесников, А.А. Гравитация и самоорганизация / А.А. Колесников. – М.: Либроком, 2016. – 116 с.
51. Нагирнер Д.И. Элементы космологии; [без обозначений] – М., 2016. – 274 с.
52. Пенроуз Р. Структура пространства-времени; [без обозначений] – М., 2015. – 793 с.
53. Уиллер, Дж. Гравитация, нейтрино и Вселенная / Дж. Уиллер. – М.: Йойо Медиа, 2013. – 598 с.
54. Фаритов, Т.А. Курс общей физики: Учебник / Т.А. Фаритов. – СПб.: Лан П, 2016. – 656 с.
55. Баранов А.А., Колпащиков В.Л. Релятивистск
56. Грабовский, Р.И. Курс физики: Учебник / Р.И. Грабовский. – СПб.: Лань, 2012. – 608 с.
57. Колесников, А.А. Гравитация и самоорганизация / А.А. Колесников. – М.: Либроком, 2016. – 116 с.

58. Нагирнер Д.И. Элементы космологии; [без обозначений] – М., 2016. – 274 с.
59. Пенроуз Р. Структура пространства-времени; [без обозначений] – М., 2015. – 793 с.
60. Фаритов, Т.А. Курс общей физики: Учебник / Т.А. Фаритов. – СПб.: Лан П, 2016. – 656 с.

IV. Elektron ta'lim resurslari

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