

52.4
3h-22
F. T. Shamshiyev



Yulduzlar fizikasi

524
Sh-22

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

MIRZO ULUG'BEK NOMIDAGI
O'ZBEKISTON MILLIY UNIVERSITETI

F.T.SHAMSHIYEV

YULDUZLAR FIZIKASI

O'QUV QO'LLANMA

5140400 – Astronomiya ta'lim yo'nalishi uchun mo'ljallangan

Toshkent
"Ma'rifat"
2024

UO'K: 524:53(075.8)

KBK: 22.66+22.3ya73

Sh 22

Shamshiyev F.T. Yulduzlar fizikasi. O'quv qo'llanma.

–T.: “Ma’rifat”, 2024. 156 bet.

“Yulduzlar fizikasi” fani yulduzlarning tuzilishi va evolyutsiyasi haqidagi fan bo'lib, unda quyidagi uchta muhim savolga javob topish mumkin: galaktikalarda ko'rinadigan moddalarning aksariyat qismi qanday fizik sharoitda; Koinot materiyasi bilan faol ta'sirda bo'lgan elektromagnit nurlanishning asosiy qismi qanday paydo bo'ladi; materiyaning yadro darajasidagi evolyutsiyasi qanday sodir bo'ladi. Shubhasiz, bu savollar nafaqat astronomiya nuqtai nazaridan, balki umumiy ilmiy va falsafiy ahamiyatga ham ega.

O'quv qo'llanmada yulduzlar fizikasi fanining bugungi kundagi vaziyatini tushunish uchun muhim bo'lgan ma'lumotlar va zamonaviy tadqiqot natijalari keltirilgan. Qo'llanma Universitetlarning astronomiya ta'lim yo'nalishi bo'yicha o'qiydigan talabalar, magistrantlar va doktorantlar uchun mo'ljallangan.

“Physics of stars” is the science of the structure and evolution of stars, in which you can find answers to three important questions: in what physical conditions is most of the visible matter in galaxies; how does the bulk of electromagnetic radiation that actively interacts with the matter of the Universe arise; how is the evolution of matter at the nuclear level. It is obvious that these questions have not only astronomical, but also general scientific and philosophical significance.

The textbook contains information and results of modern research that are important for understanding the current state of the science of stellar physics. The manual is intended for students, undergraduates and doctoral students studying in the direction of astronomical education at universities.

UO'K: 524:53(075.8)

KBK: 22.66+22.3ya73

Sh 22

Taqrizchilar:

T.A.Axunov – O'zMU Astronomiya va astrofizika kafedrasi mudiri, f.-m.f.d., professor

Y.A.Tillayev – O'zFA Astronomiya instituti direktori muovuni, f.-m.f.n., dotsent

O'zMU Ilmiy Kengashining 2023 yil 28 dekabrda 4-sonli qarori bilan nashrga tavsiya etilgan. Ruxsatnomasi Raqami № 262.

ISBN: 978-9910-765-35-3

© “Ma’rifat” nashriyoti, Toshkent, 2024 y.

O'zMU

AXBOROT-RESURS
MARKAZI

24/156-155

I-MAVZU. YULDUZLAR FIZIKASI FANIGA KIRISH

Reja:

I.I. Kirish: yulduzlarning Koinotdagi o'рни.

I.II. Yulduzlar fizikasining tuzilishi va vazifalari.

I.III. Yulduzlar fizikasi fanining kelib chiqishi.

I.I. Kirish: yulduzlarning Koinotdagi o'рни. Yulduzlar - bu Astronomiya fani nomini bergan ob'ektlardir. Bu tasodif emas. Dunyo evolyutsiyasining hozirgi bosqichida ular, shubhasiz, ko'p jihatdan Koinotning eng muhim ob'ektlari hisoblanadi.

Birinchidan, galaktikalarning nurlanuvchi moddasi massasining katta qismi yulduzlarda to'plangan: bizning Galaktikamizda - taxminan 90%, boshqa turdagi galaktikalarda ko'pincha undan ham ko'proq. To'g'ri, galaktikalararo gaz ham mavjud, bulardan tashqari *qorong'u materiya* deb ataluvchi, biroq hozircha to'g'ridan-to'g'ri kuzatilmagan, faqatgina nurlanuvchi moddaga gravitatsion ta'sir etuvchi materiya ham bor. Ushbu qorong'u materiyaning tabiati bugungi kunda keng muhokama qilinmoqda. Hozircha to'liq aniqlik kiritilmagan, har qanday holatda ham yulduzlar galaktikalarda bevosita kuzatiladigan materiyaning asosiy shakllardan biridir.

Ikkinchidan, yulduzlar Koinotdagi elektromagnit nurlanish energiyasini eng muhim etkazib beruvchilaridan hisoblanadi. Biroq, bu yerda biz ikkita izohni aytib o'tishimiz lozim. Hozirda fonning relikt nurlanishini hisobga olmaymiz, chunki u moddaning holatiga va boshqa energiyasiga, umuman Koinotda sodir bo'layotgan jarayonlarning aksariyati deyarli ta'sir qilmaydi. Albatta, uzoq kosmologik o'tmishda relikt nurlanishining roli juda katta bo'lgan, ammo bugungi kunda uning materiya bilan o'zaro ta'siri shunchalik zaifki, uning ta'sirini umuman hisobga olmaslik mumkin. Ikkinchi izoh shundan iboratki, agar XX-asrning o'rtalarida yulduzlarni dunyodagi elektromagnit nurlanish energiyasining asosiy etkazib beruvchilari deb hisoblash mumkin bo'lsa, endi bunday emasligi ma'lum bo'ldi. Ular bunday sharafni faol galaktikalarning yadrolari va bir xil darajali energiya beradigan kvazarlar bilan bo'lishadilar. Yulduzlardan farqli o'laroq, galaktika yadrolari va kvazarlardagi energiya chiqarish mexanizmining tafsilotlari hali aniq emas.

Ko'rinib turibdiki, supermassiv qora tuynuklarni o'z ichiga olgan bu sirli narsalarning Koinot energiyasidagi ahamiyatiga qaramay, yulduzlarning dunyo energiyasidagi eng muhim roli haqidagi klassik tushuncha bugungi kunda ham to'g'ri bo'lib qolmoqda: yulduzlar kam emas, balki, galaktika yadrolari va kvazarlarga nisbatan, ehtimol, hali ham ko'proq energiya berar. Shuni ham yodda tutish kerakki, oddiy (faol bo'lmagan) galaktikalarda - va ularning aksariyati - ushbu galaktikalar rivojlanishining hozirgi bosqichida yadrolarning nisbiy energiya roli ahamiyatsiz. Bu, ayniqsa, bizning Galaktikamiz uchun to'g'ri. Xulosa qilib aytadigan bo'lsak, yulduzlar Koinotning eng muhim energiya qurilmalari ekanligi haqida bahslashish mumkin.

Uchinchidan, Koinot moddasining kimyoviy tarkibi, aniqrog'i, elementlarning tarqalishi va vaqt o'tishi bilan uning o'zgarishi deyarli butunlay yulduzlar qaridagi yadroviy o'zgarishlar jarayonlari bilan belgilanadi. Kosmologik evolyutsiyaning dastlabki bosqichida, yulduzlar hali paydo bo'lmagan davrda, *vodorod* va *geliydan* boshqa elementlar ham deyarli yo'q edi. Yer ham, asosan og'ir elementlardan tashkil topgan boshqa Yer tipidagi sayyoralar ham ushbu asosiy moddalardan paydo bo'la olmagan bo'lar edi. Yer va bizni o'rab turgan barcha narsalar - hayotning asosi *uglerod*, va biz nafas olayotgan *kislorod* va biz yuradigan *qum* tarkibiga ga kiruvchi *kremniy* - bir so'z bilan aytganda, *vodorod* va qisman *geliydan* tashqari barcha elementlar taxminan besh - o'n uch milliard yil oldin yulduzlarning yadroviy reaksiyalarida sintez qilingan. Yulduzlar qaridada tug'ilgan og'ir elementlar keyinchalik yulduzlararo muhitga - qisman yangi yulduzlarning portlashlarida, qisman yulduzlardan tinch oqib chiqishi yo'li bilan, yulduz qobig'ining ajralib chiqishi bilan va hokazolarda tarqalib ketgan, va so'ngra Quyosh va sayyoralar *shu* tarzda boyitilgan yulduzlararo muhit moddasidan hosil bo'lgan. O'shandan beri taxminan besh milliard yil o'tdi. Bu vaqt ichida Yer moddasining yadro tarkibi deyarli o'zgarishsiz qolgan, garchi, albatta, unda boshqa ko'plab muhim - evolyutsion jarayonlar - elementlarning tortishish differentsiatsiyasi, murakkab kimyoviy transformatsiyalar va boshqalar sodir bo'lgan.

Ko'pincha Quyosh Yerdagi hayot manbai ekanligini eshitish yoki o'qish mumkin, chunki u bizni yoritadi va isitadi. Biroq, ko'rib

turganigizdek, Yerdagi hayotning asosiga aylangan elementlar bir paytlar tom ma'noda o'sha "o'lik yulduzlarning qornida" tug'ilganligining roli ham kam emas, balki, ehtimol, katta huquq bilan da'vo qilishlari mumkin.

Yulduzlar energiyasining roli juda ma'lum - bu haqda maktab darsliklarida, ommabop astronomiya kitoblarda va universitet kurslarida anchagina yozilgan. Yulduzlarning Koinot materiyasining yadro evolyutsiyasidagi roli yaqinda kamroq ta'kidlandi - ehtimol u yaqinda aniqlandi va ko'plab tafsilotlar hali to'liq tushunilmagan.

Shu bilan birga, u bir xil darajada muhimdir, biz buni yana bir bor quyidagi yakuniy ibora bilan ta'kidlaymiz: yulduzlar tabiatdagi elementlar sintezining asosiy markazlaridir. Yuqorida sanab o'tilganlar koinotdagi yulduzlarning roli tugamagan bo'lsa-da, eng muhimlari ko'rsatilgan deb o'ylash mumkin.

I.II. Yulduzlar fizikasining tuzilishi va vazifalari. Yulduzlar fizikasi faning vazifasi - yulduzlarning muvozanat tenglamasini, yulduzlar termodinamikasi asoslarini, yulduz modellari va uni ifodalovchi tenglamalarni, yulduz tuzilishining asosiy tenglamasini va yulduzlar evolyutsiyasi masalalarini, ularning tabiatini, unda bo'ladigan hodisalarning o'rganishdan iborat.

Yulduz - bu termoyadroviy reaksiyalar natijasida vodorodning geliyga aylanishini sezilarli darajada ta'minlagan, ta'minlayotgan yoki ta'minlaydigan moddaning anchagina katta o'lchamdagi tortishish kuchi bilan bog'langan fazoviy noshaqqof nurlanuvchi massasidir (V.V.Ivanov).

Yulduzlarning (va Quyoshning) ichki tuzilishini tavsiflovchi asosiy tenglamalar. Aytaylik L, M va R - yulduzning yorqinligi, massasi va radiusi, X, Y, Z lar esa mos ravishda vodorod, geliy va og'irroq elementlarning ($X + Y + Z = 1$) massasi bo'yicha nisbiy miqdori, k - yulduz materiyasining shaffoflik koeffitsienti ($dt = kr$) bo'lsin.

1) Hidrostatik muvozonat tenglamasi;

2) Holat tenglamasi;

3) Massa va zichlik orasidagi bog'lanish;

4) Normirovka sharti;

5) Energiyani markazdan cheka qismlarga uzitish tenglamasi;

6) Yadroda energiya ajralishini ifodalovchi tenglama.

Moddaning to'rtta asosiy holati - qattiq, suyuq, gazsimon va plazma holatlari kabi, yulduz ob'ektlarini ham bir-biridan unchalik katta farq qilmaydigan to'rtta turini ajratish mumkin:

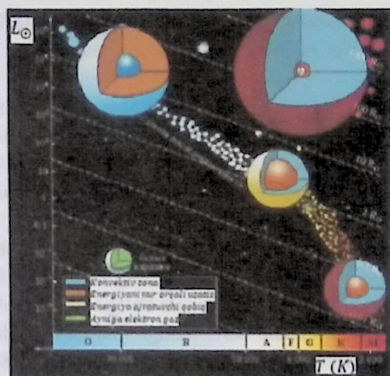
- *Normal yulduzlar*
- *Oq mittilar*
- *Neytron yulduzlar*
- *Qora tuynuklar*

Fizik nuqtai nazardan esa, bu yulduzlar bir-biridan tubdan farq qiladi. Oddiy, yoki *normal yulduzlar*, ba'zan esa qisqacha qilib shunchaki yulduzlar deb, aynimagan gazning bosimi moddaning o'zgravitatsiyasiga qarshi tura olishi asosiy omil bo'lgan yulduzlarga aytiladi. Bu yulduzlarning zichligi juda katta bo'lishi mumkin emas va ularning ichki qismidagi harorat juda yuqori bo'lishi kerak. Shundagina tortishish kuchini ushlab turish uchun zarur bo'lgan katta bosim bo'ladi va shu bilan birga gazning elektron komponenti buzilmaydi. Oddiy yulduzlar tabiatda mutlaq ko'pchilikni tashkil qiladi. Ular xususiyatlari jihatidan juda xilma-xil bo'lib, o'quvchiga shubhasiz ma'lum bo'lgan keyingi va juda batafsil sinflashtirishga imkon beradi (asosiy ketma-ketlik yulduzlari, gigantlar, subkarliklar, gorizontall tarmoqlar yulduzlari va boshqalar (I.I.1-rasm).

Ushbu turdagi yulduzlarda gazning issiqlik bosimi bilan bir qatorda yana uchta qo'shimcha omil ham muayyan (ba'zan sezilarli) rol o'ynashi mumkin. Birinchidan, bu nurlanish bosimi. Bu yorqinligi yuqori bo'lgan yulduzlar uchun muhimdir. Ikkinchidan, yulduz massasining bir qismida elektron gaz hali ham degeneratsiyalanishi-ayinishi mumkin, shuning uchun aslida biz oddiy yulduzlar va oq mittilar orasidagi ob'ektlar bilan shug'ullanamiz. Bular massasi nisbatan kichik qizil gigantlar. Va nihoyat, uchinchidan, kichik massali yulduzlarda gaz, zarrachalarning o'zaro Kulon kuchi ta'siri tufayli sezilarli darajada ideal emas.

Normal yulduzlarning eng muhim fizik xususiyatlaridan biri shundaki, ularning mexanik muvozanati issiqlik hodisalari bilan chambarchas bog'liq, chunki ulardagi bosim zarrachalarning issiqlik harakati bilan ta'minlanadi. Shuning uchun nurlanish uchun energiya yo'qotilishi muqarrar ravishda yulduzning ichki tuzilishini bosqichma-bosqich qayta qurishga olib kelishi kerak. Bu yulduz hayotining o'sha bosqichlarida bo'lgani kabi, u ta'kidlash orqali porlaydi gravitatsion

energiya, ya'ni yulduzning qisqarishi effektiv sodir bo'lganda (garchi uning tashqi qatlamlari hatto markazdan uzoqlashishi mumkin bo'lsa ham) va energiya termoyadroviy reaksiyalar bilan ta'minlanganda. Gap shundaki, ular nafaqat energiya chiqaradi, balki reaksiyaga kirishadigan zarralar konsentratsiyasining o'zgarishiga olib keladi. Shu sababli, harorat doimiy bo'lib qolsa ham, energiya chiqarish tezligi asta-sekin o'zgarishi kerak. Bundan tashqari, o'rtacha molekulyar og'irlikning juda sekin, ammo tubdan muhim o'zgarishi sodir bo'ladi.



1.1.1-rasm. Gertzsprung-Rassel diagrammasida normal yulduzlarning joylashuvi.

Bu bosimning asta-sekin o'zgarishiga olib keladi. Natijada yulduz qayta tiklanadi. Shunday qilib, yulduzning issiqlik va mexanik tuzilishlari o'rtasidagi bog'liqlik nurlanishga energiya yo'qotilishi tufayli yulduzning tuzilishi vaqt o'tishi bilan o'zgarishi kerak, ya'ni yulduz evolyutsiyalanishi kerak.

Yulduz massasi ko'p jihatdan belgilovchi xususiyatdir. Massalari $10^{-2}M_{\odot} < M < 10^{-1}M_{\odot}$ oraliqda, aniqrog'i, $0.01M_{\odot} < M < 0.07M_{\odot}$ da bo'lgan ob'ektlar subyulduzlar, yoki *jigarrang mittilar* (*brown dwarfs*) deb ataladi. Bular "yarim yulduzlar"dir. Ushbu ob'ektlarda evolyutsiyaning

ma'lum bosqichlarida, sezirali bo'lmagan miqdorda vodorodning geliyga aylanishining termoyadroviy reaksiyalari sodir bo'ladi. Ularda faqat og'ir vodorod - deyeriy 2D yonib, geliyning yengil izotopi 3He ga aylanadi, oddiy vodorod esa yonmaydi. Jigarrang mittilar oddiy yulduzlarning yo'ldoshlari qatorida ham, yakka ob'ekt ko'rinishida ham topilgan. Tashqi ko'rinishidan, bu ob'ektlar oddiy yulduzlardan unchalik farq qilmaydi. Bugungi kunda jigarrang mittilar yangi kiritilgan L, T va Y spektral turlarining ultrasovuq (*ultracool*) yulduzlari sifatida qaralmoqda. Massalari $M \leq 13M_J$ (M_J - Yupiter massasi) bo'lgan ob'ektlarda termoyadroviy reaksiyalar sodir bo'lmaydi, ular sayyoralar hisoblanadi. Eng sovuq yulduzlarda atmosfera harorati $\sim 300 K$ va undan ham past bo'lishi mumkin.

Yuqorida ko'rib chiqilgan astronomiya va astrofizikaning bu savollarga javob izlashda yulduzlar fizikasi fani kelib chiqadi va u bugungi kunda rivojlanib kelmoqda.

I.III. Yulduzlar fizikasi fanining kelib chiqishi. Ma'lumki, Quyoshning nurlanish sababini tushuntirish maqsadida uning sirtiga kometalarning uzluksiz tushib turishidandir degan taxminni birinchi bo'lib Nyuton taklif qilgan edi. Lekin XIX asrning o'rtalarida kometalarning massalari juda ham kichik va miqdori kam bo'lganligi sababli Quyoshning nurlanishini uzluksiz ta'minlab berolmasligi ma'lum bo'ldi. Ko'mirning mavjud zaxiralari esa faqatgina besh ming yilga yetar edi. Shuning uchun energiyaning saqlanish qonuni asoschilaridan biri Yu.A.Mayer 1848 yilda Quyoshning meteorlar tomonidan bombardimon qilinish nazariyasini ilgari surdi. Biroq bu mexanizm tasdiqlanmagan bo'lsada qora tuynuk, neytron yulduzlar, oq karliklar va xattoki galaktikalar yadrosi kabi qiziqarli astrofizik ob'ektlarni tushuntirishda juda xam qo'l keldi. Mayer gipotezasi atrofdagi gaz chang bulutlari qoldiqlarining akresiyasi davom etgan va $10^3 - 10^6$ yil mobaynida nurlanishi ta'minlab turilgan Quyoshning birlamchi evolyusion davri uchun o'rinli edi.

G.Gelmols esa gravitasion deb nomlangan boshqa enenrgiya manbasini taklif etdi. Uning fikricha Quyoshning oddiy siqilishlari uning qizishiga olib keladi. Shuning uchun uzluksiz nurlanishlar uzluksiz siqilishlar natijasida sodir bo'ladi. U.Kelvinning xisoblashlari bu usulda energiya uzatish Quyosh nurlanishlarini 20 mln. yil mobaynida

uzluksizligini ta'minlab berib turishini ko'rsatadi. Vaqtning bu shkalasini keyinchalik Kelvin-Gelmgols shkalasi deb atay boshladilar. Quyoshning ichki energiya manbasini izlashda gravitasion siqilish nazariyasi o'z aksini topmagan bo'lsada, Quyosh paydo bo'lishi va evolyusiyasida gravitasion siqilishning ahamiyati salmoqlidir. Shuni ta'kidlash kerakki, agar Quyosh bexosdan yadroviy energiya manbasidan maxrum bo'lib qolsa unda u energiya manbasidan maxrum bo'lib qolsa unda u energiyani o'z siqilish chegarasigacha ajratgan bo'lar edi. Ba'zi kimyoviy elementlarning radiaktiv yemirilishi haqidagi ta'limot yuzaga kelishi bilan bu hodisa Quyoshning ichki energiya manbasini tushuntirishda o'z o'rnini topdi. Biroq uran, toriy va boshqa shu kabi Yerda kam uchrovchi elementlarning Quyosh tarkibida ko'pligi qiziqarli edi.

O'tgan asrning 30-yillarning oxiridan 50-yillari o'rtalariga qadar yulduzlar modellarini hisoblashda va undan keyin - ularni kuzatiuv ma'lumotlari bilan taqqoslashda ajoyib yutuqlarga erishildi, bu esa nihoyat yulduzlarning rivojlanish yo'llarini tushunishga imkon berdi. Bu ko'pchilik astronomlarning yulduzlar nazariyasiga bo'lgan munosabatini keskin o'zgartirdi. Vaziyatning tubdan o'zgarishi, birinchi navbatda, 1930-yillarning oxirida yulduzlarning energiya manbalari ishonchli tarzda aniqlanganligi bilan bog'liq edi (G. Bethe, K. Veyzeker, 1938 – 1939). Ma'lum bo'ldiki, *yulduz hayotining eng katta qismida uni yoritib turadigan yadro reaksiyalari, bu to'rtta protonning α -zarrachaga birlashishi ekan.* Bular birmuncha notrivialdir. Bunda α -zarrachaning hosil bo'lishi ikkita shart, β -parchalanishlarning zaif o'zaro ta'siri bilan birga kechishi kerak. Bu va uni engib o'tish zarurati to'qnashuvlarda yuqori Kulon to'sig'ining tunnel ta'sirini hisoblash yadroviy reaksiyalarni juda sekin davom etishiga olib keladi. Sh sababli yulduzlar uzoq umr ko'rishadi. Shuning uchun ham bugun, yulduzlar paydo bo'lishi boshlanganidan $\sim 10^{10}$ yil o'tsada yulduzlar porlashda davom etmoqda. Birlamchi vodorod-geliy plazmali energiya zaxiralari hali yetarlicha.

Yadro fizikasining astronomiyaga kirib borishi yulduzlarni o'rganishda yangi bosqich - *astronomik va fizik yondashuvlarga, bu esa o'z o'rnida yulduzlar fizikasi fanini kelib chiqishiga olib keldi.* Yulduzning yulduzlararo moddadan shakllanishining dastlabki bosqichlaridan boshlab uning rivojlanishini boshqaradigan asosiy fizik jarayonlardan to

evolyutsiyaning kech bosqichlarigacha kechadigan jarayon tushunarli bo'ldi. Bu degani hali hamma narsa darhol aniq bo'ldi degani emas edi. Oldinda juda ko'p muhim va nafaqat texnik tafsilotlarda, balki asosiy g'oyalarda ham muammolar bor edi.

Mavzu bo'yicha savollar.

1. Yulduz deganda nimani tushunasiz, u qanday ta'rifga ega?
2. Yulduzlar qanday turlarga ajratiladi, ular bir-biridan tubdan farq qiladimi?
3. Qanday yulduzlarga normal yulduzlar deyiladi?
4. Jigarrang mittilar qanday yulduzlar va ular qaysi spektral sinfga kiritilgan?
5. Ultracool yulduzlar deb qanday yulduzlarga aytiladi?
6. Mayer va Gelmgolts gipotezalari nimalardan iborat?

Mustaqil ta'lim mavzulari:

1. Gertshprung-Rassel diagrammasi hamda uni yulduzlar fizikasi va evolyutsiyasidagi ahamiyati
2. Kelvin-Gelmgolts nazariyasi va uning yulduzlar evolyutsiyasida foydalanilishi.
3. Jigarrang mitti yulduzlarning kashf etilishi.

II-MAVZU. YULDUZLARDA MEXANIK MUVOZANAT

Reja:

II.I. Hidrostatik muvozanat tenglamasi.

II.II. Dinamik vaqt shkalasi va turli tipdagi yulduzlarning dinamik vaqti.

II.III. Gravitatsion kollaps.

II.I. Hidrostatik muvozanat tenglamasi. Tabiiyki, biz yulduzning sferik-simmetriyaga ega deb faraz qilamiz. Bundan tashqari, biz quyidagi uchta omil: o'z o'qiga nisbatan aylanishini, ko'tarilish effektlarini (agar yulduz bitta bo'lmasa) va keng ko'lamli magnit maydonlarini ta'sirini e'tiborga olmaymiz. Bularning roli har doim ham kichik emas. Biz, albatta, eng oddiy sferik-simmetrik holatdan boshlashimiz kerak. Keyingi qadam - sanab o'tilgan uchta omilni kichik tuzatishlar sifatida hisobga olish va shu bilan birga, sferik simmetriya haqidagi dastlabki taxminning aniqligi va qo'llanilishi doirasini miqdoriy baholashga imkon beradi. Bu bilan biz hozir shug'ullanmaymiz.

Yulduzning siqilishini ta'minlovchi *gravitatsiya kuchiga* qarama-qarshi bo'lgan *nurlanish bosimi* gradientining balansda bo'lishi *yulduzning mexanik muvozanatini* aniqlaydi.

Yulduzning radiusi bo'ylab, markazidan r radius masofada silindr shaklida joylashgan hajm elementi $dV = d\sigma dr$ ni ko'rib chiqamiz (rasm.II.1.1). Unga radiusi r sfera ichida joylashgan M_r massaning markazga yo'naltirilgan δF_G tortishish kuchi va bu kuchga qarama-qarshi yo'nalgan bosim kuchi δF_p ta'sir qiladi. Shubhasiz, δF_G - kuch dV ning og'irligi, ya'ni tortishish tezlanishi $-GM/r^2$ ning ushbu elementning massasiga ρdV ko'paytmasidir,

$$\delta F_G = - \frac{GM_r}{r^2} \rho dV ,$$

bu yerda ρ - zichlik. Silindrsimon hajm elementi dV ni muvozanatda ushlab turadigan δF_p kuch faqat uning yuqori va pastki asoslariga ta'sir etayotgan bosimlar farqi tufayli yuzaga keladi, chunki silindrning yon

devorlariga beriladigan bosimning komponenti nolga teng. Aytaylik, dP bosimning dr masofada oshishi bo'lsin. U holda,

$$\delta F_p = P d\sigma - (P + dP) d\sigma = -dP d\sigma.$$

Yulduz markasidan yuqoriga qarab bosim kamayib boradi, shuning uchun dP ni manfiy qilib olamiz, va $\delta F_p > 0$.

Muvozanat holatda tortishish kuchi va bosim o'zaro muvozanatlashishi kerak, y'ani,

$$\delta F_G + \delta F_p = 0$$

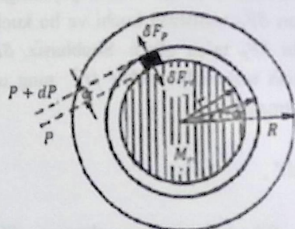
yoki,

$$dP d\sigma = -\rho (GM r / r^2) d\sigma dr,$$

va nihoyat bu yerdan

$$\frac{dP}{dr} = -\rho \frac{GM_r}{r^2}. \quad (II.1.1)$$

Bu tenglama yulduzning *gidrostatik muvozanat tenglamasi* (yoki *mexanik muvozanat tenglamasi*) deyiladi va o'zgravitatsiyalanuvchi sferik-simmetrik shaklga ega massaning mexanik muvozanatda bo'lish shartining matematik ifodasi hisoblanadi.



II.1.1 - rasm Sferik-simmetrik yulduz uchun mexanik muvozanat tenglamasini olish.

Gidrostatik tenglamaga kiruvchi M_r kattalik r radiusli sfera ichidagi massa

$$M_r = 4\pi \int_0^r \rho r'^2 dr',$$

shuning uchun

$$\frac{dM_r}{dr} = 4\pi r^2 \rho. \quad (\text{II.1.2})$$

M_r massa, ba'zida qobiq massa deb ham ataladi, inglizchasiga - *shell mass*.

Keltirilgan (II.1.1) va (II.1.2) munosabatlar yulduzlar tuzilishining asosiy tenglamalari qatoriga kiradi. Ular yulduz tuzilishida bosimning rolini qanchalik muhimligini ko'rsatib turibdi. Ushbu ikkita tenglama tarkibiga uchta noma'lum funktsiyalar: $P = P(r)$, $M_r = M_r(r)$ va $\rho = \rho(r)$ kirgan. Shuning uchun ham ular muvozanat konfiguratsiyasini hisoblash uchun yetarli emas. Bosim P umuman olganda, *holat tenglamasi* $P = P(\rho, T)$ orqali aniqlanadigan ikkita termodinamik o'zgaruvchi, zichlik ρ va temperatura T ning funktsiyasi. Bu tenglamani jalb qilish ham tenglamalar sistemasi yechimini hal qilmaydi, chunki yana yangi noma'lum funktsiya $T = T(r)$ paydo bo'ladi. Shunday qilib, *yulduzning mexanik muvozanatini o'rganishda, umuman olganda, uning issiqlik tuzilishini o'rganishdan ajratib bo'lmaydi*. Shuning uchun to'liq tenglamalar - nochiziqli murakkab sistemadir. Bu sistemani yechish uchun sonli hisoblashlardan foydalaniladi.

II.II. Dinamik vaqt shkalasi va turli tipdagi yulduzlarning dinamik vaqti. Jins beqarorligi (gravitatsion beqarorlik) - beqarorlikga uchragan moddaning vaqt o'tishi bilan tortishish kuchi ta'siri ostida fazoviy tezlik fluktuatsiyasining va zichligining ortib borishi. Gravitatsion beqarorlik dastlab birjinsli muhitda birjinsli bo'lmagan quyqliklar paydo bo'lishiga olib keladi va sistemaning tortishish energiyasining kamayishi bilan kechib, siqilayotgan moddaning kinetik energiyasiga aylanadi, bu esa o'z navbatida issiqlik energiyasi va nurlanishga o'tishi mumkin.

Gravitatsion beqarorlik Koinotdagi bir qator fundamental fizik jarayonlarda asosiy rol o'ynaydi: akkretsiya disklar fizikasi, yulduzlarning paydo bo'lish jarayonlari, sayyora sistemalari, galaktikalar va ularning to'ldarining kelib chiqishi, Koinotning keng ko'lamli tuzilishini shakllantirishgacha.

Yulduzlarning hayotida ham ularning siqilish yoki kengayish davrlari mavjud. Masalan, rivojlanishining dastlabki bosqichlarida, bosh ketma-ketlikga (BKK) kirishdan oldin, ularda siqilish sodir bo'ladi. Aksincha, BKKdan qizil gigant bosqichiga o'tishda yulduzlarning radiuslari kattalashadi. BKK va gigantlar hududidan tashqaridagi Gertzsprung-Rassel diagrammasidagi yulduzlarning kichik soni ushbu bosqichlar nisbatan qisqa muddatli ekanligi to'g'risida to'g'ridan-to'g'ri kuzatuv dalili bo'lib xizmat qiladi. Quyosh xususiyatlaridan unchalik farq qilmaydigan yulduzlar uchun bunday qayta qurishning xarakterli vaqti taxminan 10^7 yil. Gidrostatik muvozanat tenglamasi umuman va evolyutsiyaning bunday bosqichlarida amal qiladimi degan savolga, javob ijobiy bo'lib chiqadi. Gidrostatik muvozanatning buzilishi, yuqorida aytib o'tilganidek, uning turiga qarab, kun, soat, daqiqa yoki hatto soniyalarda yulduz tuzilishining o'zgarishiga olib kelishi mumkin. Shunday qilib, gidrostatik muvozanat tenglamasini faqat quyidagi uchta holatdan tashqari har doim qo'llasa bo'ladi: a) protoyulduzlarning tez dastlabki siqilishi, b) yulduz portlashlari va c) pulsatsiyalanuvchi yulduzlar.

Yulduzning o'ziga xos tebranish davri bilan aniq belgilanadigan yulduz pulsatsiyalarining xarakterli vaqtlari (odatda kun yoki soat) barcha kosmogonik vaqt shkalalarida (10^6 yil va undan ko'p) mexanik muvozanat shartining qo'llanilishini kuzatish uchun xizmat qilishi mumkin. Buning nazariy asoslanishi quyidagicha. Agar muvozanat buzilgan bo'lsa, unda harakat paydo bo'ladi. Bu tortishish kuchi, muvozanatsiz bosim gradienti tufayli yuzaga keladi. Nyutonning ikkinchi qonuniga ko'ra, bizda

$$\frac{\partial P}{\partial r} = -\rho \frac{GM_r}{r^2} - \rho \ddot{r}. \quad (\text{II.11.1})$$

Chap tomonda d/dr emas, $\partial/\partial r$ yozilgan, chunki endi $P = P(r, t)$. $\ddot{r}$ tezlashishi mahalliy tortishish tezlashishi bilan bir xil tartibda

bo'lmaguncha, o'ng tarafdagi ikkinchi had birinchisiga nisbatan ahamiyatsiz bo'ladi

$$g = \frac{G M_r}{r^2}. \quad (\text{II.II.2})$$

Agar bu ikki had kattaligi bilan taqqoslanadigan bo'lsa, unda harakat o'z xarakterida yulduzning tortishish maydonidagi moddaning erkin tushishiga yaqin bo'ladi.

Shunday qilib, mexanik muvozanatning sezilarli darajada buzilishi erkin tushishga xos tezlikda sodir bo'ladigan harakatlarga olib keladi. Bunday harakatning o'ziga xos vaqti-bu faqat tortishish kuchi ta'sirida bosim kuchlari bo'lmaganda yulduzni to'liq siqish uchun zarur bo'lgan vaqt. Bu vaqt *erkin tushish vaqti yoki yulduzning dinamik vaqti* deb ataladi. Biz uni t_G (G - indeksi "Gravitation"dan) deb belgilaymiz.

Biz yulduzning bunday qulashi vaqtini tartibli baholaymiz. Uni o'lchov sabablari bilan topish mumkin. Vazifada harakatning xususiyatini aniqlaydigan quyidagi o'lchovli miqdorlar paydo bo'ladi: Yulduzning massasi M , uning radiusi R , nihoyat, harakat tortishish kuchi ta'sirida sodir bo'lganligi sababli, tortishish doimiysi G . ushbu aniqlovchi parametrlardan kuch o'lchamiga ega bo'lgan kattalikni ikki yo'l bilan qurish mumkin: muammoning bitta xarakterli kuchi tortishish kuchi GM^2/R^2 , ikkinchisi Nyutonning ikkinchi qonuniga binoan $[massa] \times [tezlanish]$ yoki $M \cdot R/t_G^2$ sifatida ifodalanishi mumkin. Ushbu ikkita ifodani tenglashtirib, t_G uchun quyidagi ifodani topamiz

$$t_G \approx \left(\frac{R^3}{GM} \right)^{1/2}. \quad (\text{II.II.3})$$

Bu, albatta, aniq formula emas, balki faqat tartibli baholashdir. O'lchovsiz koefitsient τ , baholashni qat'iy tenglikka aylantiradi, shuning uchun

$$t_G \approx \tau \left(\frac{R^3}{GM} \right)^{1/2}, \quad (\text{II.II.4})$$

kutanimizdek, tartib birlikdan farq qilmaydi.

Quyidagi ifoda shuni ko'rsatadiki, bu haqiqatan ham shunday: agar yulduzdagi zichlik tashqariga qarab oshmasa va uning taqsimlanishi ixtiyoriy bo'lsa, unda

$$1.57... = \frac{\pi}{2} > \tau \geq \frac{\pi}{2\sqrt{2}} = 1.11... \quad (\text{II.11.5})$$

bundan tashqari, tenglik belgisi yulduzning deyarli butun massasi markazda to'plangan holatiga mos keladi.

III.III. Gravitatsion kollaps. Gravitatsion kollaps, *birinchidan*, yulduzlararo molekulyar H_2 bulutlarning siqilishi natijasi bo'lib, yulduzlarning tug'ilish jarayonida asosiy rol o'ynaydi. Siqilish jarayonida gravitatsion energiya ajralib chiqadi. Agar bu energiya zarrachalarning issiqlik harakati energiyasiga aylansa, u bosimning oshishiga va siqilishning sekinlashishiga olib keladi.

Ikkinchidan, gravitatsion kollaps barcha juda massiv bo'lgan, bir necha 10 Quyosh massasiga teng bo'lgan yulduzlar yadrosidagi termoyadroviy evolyutsiya bilan yakunlanadi. Termoyadroviy qayta ishlash natijasida dastlabki vodorod-geliy aralashmasi yulduz evolyutsiyasi jarayonida katta bog'lanish energiyasiga ega bo'lgan ^{56}Fe temir yadrosi nuklonlarining hosil bo'lishiga olib keladi. Bunday yadrolarning yana boshqa yadro energiyasi ishlab chiqarishi mumkin emas. Yadrolarning siqilishi natijasida ajralib chiqayotgan gravitatsion energiya gazni qizdirishga emas, balki yuqori energiyali fotonlarni yutilishi natijasida temir yadrosidan α – zarralarni urib chiqarishga sarflanadi. Temperatura $T \sim 10^{10}\text{K}$ ga yetganda bu fotonlar Plank issiqlik nurlanishining oxirlari, Vinn nurlanish sohasida k 'rinadi. Bu jarayon fotoionizatsiyaga o'xshash kechadi, biroq bunda yutilayotgan energiya miqdori vodorod ionizatsiyasida kerak bo'ladigan energiyadan olti tartibga katta bo'ladi. Temir yadrolarining foto parchalanishi kechayotga bu jarayonda gidrostatik muvozanat holati bajarilmaydi va yadroning kollapsi ro'y beradi.

Yulduzlardagi barqarorlikni buzilishiga va gravitatsion kollapsga olib keluvchi sabablardan yana biri teskari β –jarayon yo'li bilan yuqori zichlikka ega bo'lgan moddalarda sodir bo'ladigan neytronizatsiyadir.