

**O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY VA O'RTA MAXSUS
TA'LIM VAZIRLIGI**

**ALISHER NAVOIY NOMIDAGI SAMARQAND
DAVLAT UNIVERSITETI**

FIZIKA FAKULTETI

ASTRONOMIYA YO'NALISHI

ASTROFIZIKA KAFEDRASI

**KARRALI YULDUZLARDAGI NEYTRONLI
YULDUZLAR VA QORA TUYNUKLAR**

Malakaviy bitiruv ishi

Bajaruvchi: Qo'ldoshev Ortiq

Ilmiy rahbar: dots.T.A.Alimov

Malakaviy bitiruv ishi Astrofizika kafedrasida bajarildi. Kafedraning 2012 yil 24 maydagi majlisida muhokama qilindi va himoyaga tavsiya etiladi (bayonnoma № 13).

Kafedra mudiri:

dots.T.A.Alimov

Malakaviy bitiruv ishi YaDAKning 2012 yil “___”_____dagi majlisida himoya qilindi va _____ ball bilan baholandi (bayonnoma № ____).

YaDAK raisi: _____

A'zolari: _____

Samarqand – 2012

M U N D A R I J A

Kirish

Bob – I. O'zgaruvchi yulduzlarning umumiy xarakteristikalar

§1.1. Vizual qo'shaloq yulduzlar

§1.2. Tutiluvchi o'zgaruvchan yulduzlar

§1.3. Spektral qo'shaloq yulduzlar

§1.4. Fizik o'zgaruvchan yulduzlar

Bob – II. Yulduzlar evolyutsiyasining oxirgi etaplaridagi obyektlar

§2.1. Oq karliklar

§2.2. Neytronli yulduzlar

§2.3. Qora tuynuklar

Bob – III. Yulduzlar evolyutsiyasining oxirgi etaplaridagi jarayonlar

§3.1. Yulduzlar qanday o'ladi?

§3.2. O'lgan yulduzlarni kuzatish mumkinmi?

§3.3. Relyativistik yulduzlarning akkretsiya jarayoni, ular nurlanish energiyasi manbai

Bob – IV. Qo'shaloq sistemadagi neytronli yulduzlar evolyutsiyasi ssenariyasi

§4.1. Ejeksiyalanuvchi pulsarlar

§4.2. Qo'shaloq radiopulsarlar

§4.3. Rentgen manbalarining umumiy xususiyatlari

§4.4. Gerkules X-1 ning "epitsikl" va "deferent" lari

Xulosalar

Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati

KIRISH

Koinotda eng ko'p tarqalgan obyektlar yulduzlardir. Koinot massasining 98% idan ko'pi anashu shar shaklidagi gazlarga to'g'ri kelib, qolgan qismi yulduzlararo fazoda taqsimlangan. Tabiatda mavjud bo'lgan elementlarning deyarli barchasi yulduzlarda ularning evolutsiyasi davomida paydo bo'lgan. Shuning uchun yulduzlarni o'rganish nafaqat kosmik obyekt sifatida, balki evolutsiyasi materiyaning evolutsiyasini ma'lum bosqichini o'rganish sifatida muhimdir.

Yulduzlarning asosiy xususiyatlari ularning eng avval massasi, yorqinligi va radiusi bilan aniqlanadi. Shuning uchun ularni kuzatishni birinchi maqsadi anashu kattaliklarni aniqlashdan iborat bo'lsa, yana a'lohida yulduzlar, ularning guruhlarini xususiyatlarini aniqlashdan iboratdir.

Oxirgi vaqtlarda yaratilgan nazariy va amaliy astrofizika metodlari yulduzlarni atmosferasidagi, yuzidagi va ichidagi fizik parametrlarini aniqlash hamda ularni (yulduzlarni hamda butun koinotni) evolutsiyasini kuzatish imkonini beradi. Yulduzlar o'zaro turli-tumanligi bilan farq qiladi. Lekin yulduzlarni orasidan a'lohida guruhlarini (umumiy xususiyatlariga ko'ra) o'rganish mumkin. Yulduzlarni guruhlariga ajratishda asosan spektrlaridan foydalanadilar. Bunda yulduzlarning spektrlari shunday ketma-ketlikda joylashtiriladiki, bunday ketma-ketlikda joylashtirilgan spektrlarida bir xil elementlar chiziqlari kuchsizlanib borsa, ikkinchi elementlarniki paydo bo'lib kuchayib boradi. Bunday farqlar yulduzlar guruhlarini ajratib o'rganish imkonini beradi. Yulduzlarning spektriga ko'ra bunday klassifikatsiya qilish birinchi marotaba Garvard observatoriyasida qo'llanilganligi sababli Garvard yulduzlarni klassifikatsiyalash deyiladi. Garvard klassifikatsiyalashida yulduzlar guruhi lotin alifbosi harflari bilan quyidagi ketma-ketlikda (O, B, A, F, G, K, M) belgilanadi, bunda yulduzlarning O-sinfiga eng qaynoq temperaturasi yuqori yulduzlar joylashgan bo'lsa, M- sinfiga eng sovuq temperaturasi past yulduzlar joylashadi. Yulduzlarning bunday guruhlariga ajratib o'rganish nafaqat a'lohida yulduzlar xususiyatlarini aniqlash balki butun yulduzlar uchun umumiy bo'lgan muhim xususiyatlarini ham aniqlash imkonini beradi.

Bunday yulduzlar guruhlaridan portlanuvchi, pul'satsiyalanuvchi, nostatsionarlighi bilan ajralib turuvchi yulduzlarni ajratib o'rganish yulduzlar fizikasi uchun o'ta muhimdir. Bunday xususiyatlarga ega bo'lgan yulduzlarni o'rganilishi butun koinot evolutsiyasi mexanizmini aniqlash imkonini beradi. Shuning uchun yulduzlar fizikasida koinotni o'rganish ana shunday yulduzlarni o'rganishdan boshlanadi.

Yulduzlar bir umrli emas, ular tug'iladi, yashaydi va o'ladi. Yulduzlar tug'ilganday keyin o'zining yashash davomi-evolutsiyasi davomida turli etaplarni boshidan o'tkazadi. Ularning evolutsiyasi jarayoni eng avval massasi, radiusi va yorqinligi, qo'shaloq yoki qo'shaloq emasligi bilan aniqlanadi. Yulduzlar fizikasida qo'shaloq yulduzlar hayotini oxirgi etaplarida hosil bo'luvchi neytronli yulduzlar, pulsarlarda o'tuvchi fizik jarayonlarni o'rganish muhim ahamiyatga egadir. Shuning uchun bu malakaviy bitiruv ishida yulduzlarning qo'shaloq sistemasidagi neytronli yulduzlar va qora tuynuklar xususiyatlarini o'rganib aniq qilishga qaror etdik.

Odatda koinotda ikki yoki undan ko'p bir-biriga yaqin joylashgan yulduzlar kuzatiladi. Bunday sistemalarning ba'zilar bir-biridan uzoqda joylashgan, o'zaro fizik bog'lanmagan bo'lib, osmon sferasida bir-biriga yaqin proyeksiyalangan bo'ladi va shuning uchun bunday yulduzlar sistemalariga optik qo'shaloq yulduzlar sistemalari deyiladi. Optik qo'shaloq yulduzlar sistemalaridan farqli, fizik qo'shaloq yulduzlar sistemalari o'zaro ta'sir etuvchi kuch bilan o'zaro dinamik bog'langan bo'lib, ular sistema uchun umumiy bo'lgan og'irlik markazi atrofida harakat qiladi. Ba'zi hollarda bunday sistemaga 3-ta (uchli), undan ko'p (karrali) yulduzlar sistemalari ham uchraydi. Agar qo'shaloq sistemasi komponentlarini alohida-alohida ko'rish mumkin bo'lsa bunday yulduzlar sistemasiga vizual qo'shaloq yulduzlar sistemasi deyiladi. Qo'shaloq yulduzlar komponentalar shunday zich joylashgan bo'lishi mumkinki ularni qo'shaloqligini fotometrik usul bilan aniqlash mumkin bo'lib bunday qo'shaloqlarga tutiluvchi qo'shaloq yulduzlar deyiladi. Agar yulduzlarning qo'shaloqligi spektriga ko'ra

aniqlangan bo'lsa, bunday qo'shaloq yulduzlarga spektral qo'shaloq yulduzlar deyiladi.

Berilgan yulduzlar juftini qo'shaloq ekanligiga ishonch hosil qilish uchun ularni uzoq vaqt davomida kuzatib, komponentalaridan birini ikkinchisiga nisbatan orbital harakatlarini aniqlash kerak. Yulduzlarning fizik qo'shaloq ekanligi katta ehtimoliyat bilan ularning xususiy harakatlarini o'rganish asosida aniqlanadi. Fizik qo'shaloq yulduzlar sistemasidagi komponentalar deyarli bir xil orbita bilan harakat qiladi. Ba'zi hollarda orbital harakat qiluvchi bitta yulduz ko'rinuvchan bo'ladi. Bu holda bunday yulduzni koinotdagi harakat yo'li to'liqsimon bo'ladi.

Qo'shaloq yulduzlar komponentalarining harakati aniq Kepler qonunlariga bo'ysunadi. Har ikki komponenta bir xil eksentrisitetli orbita bo'ylab ular uchun umumiy bo'lgan og'irlik markazi atrofida harakat qiladi. Agar qo'shaloq yulduz asosiy komponentasini qo'zg'almas deb olsak, yo'ldosh yulduz asosiy yulduzga nisbatan harakat orbitasini eksentrisiteti avvalgidek bo'ladi. Yo'ldosh yulduz nisbiy harakat orbitasini katta yarim o'qi, ularning og'irlik markazi atrofidagi harakatlarini, orbitalari katta yarim o'qlari yig'indisiga tang bo'ladi. Ikkinchi tomondan ular ellipsleri katta yarim o'qlarini nisbati masalalarining nisbatiga teskari proportsional bo'ladi. Shunday qilib qo'shaloq yulduz nisbiy harakat orbitalari kuzatishdan ma'lum bo'lsa, ularning massalarini yig'indisini topish mumkin. Agar massalar markazga nisbatan harakat orbitalarini katta yarim o'qlari nisbati ma'lum bo'lsa, massalar nisbatini va shuning uchun alohida komponentalarini massalarini aniqlash mumkin. Ana shunda qo'shaloq yulduzlarni o'rganishni yulduzlar fizikasidagi muhim roli ko'rinadi. U yulduzlarni massasini topish imkonini beradi va bunday yulduzlarning atmosferasini hamda ichki tuzilishini aniqlash imkoni tug'iladi. Qo'shaloq yulduzlarning orbitasining elementlari quyidagilardir. Yo'ldosh yulduzning asosiy yulduzga nisbatan harakat orbitasi ellipsning katta yarim o'qi $a=a_1+a_2$, buda a_1 va a_2 mos ravishda har bir yulduzning, ular uchun umumiy bo'lgan og'irlik markazi atrofida aylanish orbitalarini katta yarim o'qlari yo'ldosh orbitasini asosiy yulduzga eng yaqin bo'lgan nuqtasiga periastr (P), eng uzoq bo'lgan nuqtasiga apoastr (A) deyiladi.

Yo'ldosh yulduzni asosiy yulduzga nisbatan harakati quyidagi orbita elementlari bilan xarakterlanadi: orbita katta yarim o'qi a , orbita ekssentrisiteti e , orbitasi tekisligini ko'rish nuriga perpendikulyar tekislikga nisbatan og'maligi i . Yo'ldosh harakati aylanish davri P bilan xarakterlanadi. P -odatda yillarda beriladi, yo'ldoshni periastrdan o'tish vaqti T ma'lum bo'lsa, uning istalgan vaqtdagi orbitasidagi holati topiladi.

Bob-I. O'zgaruvchi yulduzlarning umumiy xarakteristikalari

§1.1. Vizual qo'shaloq yulduzlar

Qo'shaloqligi teleskop yordamida aniqlanadigan yulduzlarga vizual qo'shaloq yulduzlar deyiladi. Yo'ldosh yulduzning asosiy yulduzga nisbatan ko'rinma orbitasini, yo'ldoshni uzoq vaqt davrlarida kuzatish natijasida aniqlaydilar, bunday orbitalar hamma vaqt ellipsdan iborat bo'lib chiqqan. Ko'p holda yakka yulduzni murakkab harakatini kuzatish asosida uning yo'ldoshi borligi aniqlanadi. Yo'ldosh asosiy yulduzga juda yaqin joylashgan bo'lishi yoki yorqinligi juda kichik bo'lganligi uchun ko'rinmaydigan bo'lishi mumkin. Ana shunday usul bilan birinchi oq karliklar, Sirius va Protsion yo'ldoshlari borligi aniqlangan edi.

Vizual qo'shaloq yulduzlarning ko'rinma orbitalari, ularning haqiqiy orbitalarini kartinali tekislikdagi (ko'rish nuriga osmon sferasida perpendikulyar tekislik) proyeksiyasidan iboratdir. Shuning uchun orbitalarini barcha elementlarini bilishda eng avval orbita tekisligini kuzatuvchiga nisbatan burchagi i -ni bilish kerak. i – yulduz orbita tekisligini kartinali tekislik, ya'ni ko'rish nuriga perpendikulyar bo'lgan tekislik orasidagi burchakni bilish kerak. Bu burchakni agar har ikki yulduz ko'rinuvchan bo'lsa topish mumkin. i burchakni topish shunga asoslanganki, ko'rish nuriga perpendikulyar tekislikga proyeksiyalanganda, asosiy yulduz ko'rinma orbita ellips fokusida bo'lmay qandaydir boshqa ichki nuqtasida bo'ladi. Bunday nuqtani joyi bir qiymatli i va periastr nuqtani uzunlamasi ω bilan

aniqlanadi. Shunday qilib i , ω va eksentrisitet e - larni topish aniq geometrik masaladan iborat bo'ladi. P , T elementlar bo'lsa kuzatishdan topiladi.

Orbitaning haqiqiy a qiymati va ko'rinma a' qiymati quyidagi formula bilan bog'langan bo'ladi:

$$a' = a\sqrt{1 - \sin^2 \omega \cdot \sin^2 i}$$

Kuzatishdan a' va shuning uchun a qiymatlari burchak birliklarida topiladi. Yulduzlarning paralaksini bilgan holdagina, katta yarim o'qlarni astronomik birliklarda (a.b.) topish mumkin.

Oxirgi yillarda 60000 ga yaqin visual qo'shaloq yulduzlar qayd etilgandir. Ulardan taxminan 20000 tasini orbital harakati topilgan bo'lib davri 2,62 yildan, ko'pchiligi ming yildan oshiq bolib chiqdi.

§1.2. Tutiluvchi o'zgaruvchan yulduzlar

Teleskopda ajratib ko'rish mumkin bo'lmagan ko'rinma yulduz kattaligi yerdagi kuzatuvchi uchun, bir komponentasi ikkinchisini davriy ravishda tutganligi sababli o'zgaruvchan yulduzlarga, tutiluvchi o'zgaruvchan yulduzlar deyiladi. Bunda yorqinligi katta bo'lgan yulduzga asosiy, yorqinligi kichik bo'lgan yulduzga yo'ldosh yulduz deyiladi. Tutiluvchi o'zgaruvchi yulduzga misol β Perseyni va β Lirani ko'rsatish mumkin. Asosiy yulduzni yo'ldosh yulduz tomonidan va aksincha, yo'ldoshni asosiy yulduz tomonidan tutilganligi sababli, sistemani yig'indi ko'rinma yulduz kattaligi davriy ravishda o'zgaradi. Yulduz nurlanishi oqimini vaqtga bog'liq ravishda o'zgarishini ko'rsatuvchi chiziqqa yorqinlik chizig'i deyiladi. Yulduz maksimal ko'rima yulduz kattaligiga ega bo'lgan vaqt momentiga minimumlar epoxasi deyiladi. Minimum epoxasida va maksimum epoxasida yulduz kattaliklari farqiga, amplituda va ketma-ket keluvchi maksimumlar yoki minimumlar orasida ketgan vaqt davomiyligiga o'zgaruvchanlik davri deyiladi. Masalan, β Perseyning o'zgaruvchanlik davri $2^k 20^h 49^m$ – ga teng bo'lsa, β Liraning davri $12^k 21^h 48^m$ – ga tengdir. O'zgaruvchi tutiluvchi yulduzning yorqinlik chizig'i xarakteriga ko'ra, bitta yulduzning

ikkinchisiga ko'ra orbita elementlarini komponentalarini nisbiy o'lchamlarini va ba'zi hollarda ularni formalarini aniqlash mumkin. Kuzatishlar ko'rsatadiki, tutilish chiziqlarida ikkita minimum chuqur yo'ldoshni asosiy yulduzni tutishiga mos keluvchi va kichikroq yo'ldoshni asosiy yulduz tomonidan tutilishi natijasida kuzatuvchi minimum mavjud ekanligini ko'rish mumkin.

Yorqinlik chizig'ini xususiyatlariga ko'ra o'zgaruvchi tutiluvchi yulduzlar komponentalari to'g'risida quyidagi ma'lumotlarni olish mumkin:

1. Tutilish xarakteri (qisman, to'la yoki markaziy) to'g'risida ma'lumot olish mumkin. Tutilish xarakteri qiyalik i va yulduzlarni o'lchami bilan aniqlanadi. $i=90^\circ$ bo'lsa, tutilish markaziy bo'ladi. Bitta yulduzni diski ikkinchi yulduz diski tomonidan to'la to'sganda to'la tutilish yuz beradi.
2. Minimumlarni davomiyligiga ko'ra komponentalarni R_1 va R_2 radiuslari aniqlanadi. R_1 va R_2 orbita katta yarim o'qi birligida topiladi, chunki tutilish davomiyligi yulduzlarni diametriga proporsionaldir.
3. Agar tutilish to'la bo'lsa, u holda minimumlar balandligining nisbatiga ko'ra yorqinliklarni nisbatini topish mumkin bo'lsa, radiuslarning ma'lum qiymatlari uchun komponentalar effektiv temperaturalarini nisbatini topish mumkin.
4. Asosiy minimum o'rtasidan ikkilamchi minimum o'rtasigacha bo'lgan vaqt davomiyligi va ikkilamchi minimum o'rtasidan asosiy minimum o'rtasigacha vaqt davomiyligi orbita eksentrisiteti e periastr uzunlamasi ω ga bog'liq bo'ladi. Ikkilamchi minimum hosil bo'lish fazasi quyidagi ko'paytma $ecos\omega$ ga bog'liq bo'ladi. Agar ikkilamchi minimum ikkita asosiy minimumlar o'rtasida joylashgan bo'lsa, orbita ko'rish nuriga nisbatan simmetrik bo'lib, xususiy holda aylanadan iborat bo'lishi mumkin. Ikkilamchi minimum assimetriyasi $ecos\omega$ ko'paytmani topish imkonini beradi.
5. Ba'zida ikki minimum orasidagi kuzatiluvchi egri chizig'i qiyaligi miqdoran bir yulduzni ikkinchi yulduz nurlanishini qaytarish effektini baholash imkonini beradi.

6. Yorqinlik egri chizig'ini sekinlik bilan o'zgarishi yulduzning ellipsoidal ekanligini ko'rsatadi. Bu yaqin joylashgan qo'shaloq yulduzlarini prilivli ta'siri tufayli vujudga keladi. Bu holda yorqinlik chizig'i formasi asosida yulduzlarni formasini aniqlash mumkin.
7. Ba'zi hollarda minimumlarda yorqinlik chizig'ini detal yurishi yulduz diskini chegarasi tomon tutilish qonunini aniqlash imkonini beradi. Lekin bu effektni kuzatish juda qiyin bo'ladi. Ammo bu yulduz yorqinligini uni diskida taqsimlanishini aniqlaydigan yagona metoddir.

Natijada yorqinlik chizig'i ko'rinishiga ko'ra quyidagi elementlarni va sistema xarakteristikalarini aniqlash mumkin: i – orbita qiyaligini, P – davr, T – asosiy minimum epoxasi, e – orbita ekssentrisiteti, ω – periastr uzunlamasi (orbita katta yarim o'qi birligidagi), R_1 va R_2 komponentalar radiuslari, yulduzlar formalarini aniqlovchi ellipsoidalar ekssentrisitetlari, L_1/L_2 - komponentalarini yorqinliklari nisbati, T_1/T_2 - komponentalar temperaturallari nisbati.

§1.3. Spektral qo'shaloq yulduzlar

Ba'zi yulduzlarning spektridagi chiziqlarni davriy ravishda ikkiga bo'linishi yoki tebranishi yuz beradi. Agar bu yulduzlar tutiluvchi o'zgaruvchi bo'lsa, ularning spektridagi chiziqlarni tebranish davri yorqinligi o'zgarish davri bilan bir xil bo'ladi. Bunda har ikkala komponenta ko'rish nuriga perpendikulyar ravishda harakat qilayotganda spektral chiziqlarning o'rtacha holdan chetlashishi nolga teng bo'ladi. Boshqa hollarda chiziqlarni har ikkala komponentalari uchun umumiy bo'lgan chiziqlarni ikkita bo'linishi kuzatiladi. Chiziqning ikkita bo'linishini eng katta qiymati sistema komponentalarini kuzatuvchiga nisbatan tezligini bittasi kuzatuvchidan, ikkinchisi qarama-qarshi yo'nalishdagi maksimal qiymatiga mos keladi. Agar kuzatilayotgan spektrdagi chiziqlar faqatgina bitta yulduzga taalluqli bo'lsa (ikkinchisiniki xira bo'lganligi sababi kuzatilmaydi), chiziqlar goh qizil, goh qarama-qarshi tomonga siljiydi. Nurli tezlikni vaqtga bog'liq ravishda o'zgarishini ko'rsatuvchi chizig'iga (chiziqlarni spektrda siljishiga ko'ra aniqlanadi) nurli tezlik

egri chizig'i deyiladi. Nurli tezlik chizig'ining formasi faqatgina ikkita parametr, orbita ekssentrisiteti e va periastr uzunlamasi ω bilan aniqlanadi.

Shunday qilib nurli tezlik chizig'idan bu ikki parametрни a'lohida yoki ular kombinatsiyalarini toppish mumkin. Qo'shaloqligi spektrlarini analizi ostida aniqlanadigan yulduzlarga spektral – qo'shaloq yulduzlar deyiladi. Tutiluvchi o'zgaruvchi qo'shaloq yulduzlardan farqli ularni orbitalarini tekisligi nurli chiziq bilan juda kichik burchak hosil qiladi ($i \approx 90^\circ$). Spektral qo'shaloq yulduzlar bu burchak ancha katta bo'lganda ham, ya'ni i 90° katta farq qilganda ham kuzatiladi. Ya'ni orbita tekisligi kartinali tekisligiga yaqin bo'lganda, komponentalarni harakati spektrdagi chiziqlarni yetarlicha siljishiga olib kelmaydi va sistemani qo'shaloqligi bilinmaydi.

Agar orbita tekisligi ko'rish nuridan o'tsa ($i=90^\circ$), spektral chiziqlarni siljishini maksimal qiymati, yulduzlarni, ular uchun umumiy bo'lgan ogirlik markaziga nisbatan qarama-qarshi yo'nalishda harakat qilish to'la tezligi qiymati ϑ -ni toppish imkonini beradi. ϑ -ni bu qiymati nurli tezliglar chizig'ining ekstremumlaridir. Orbita ekssentresiteti e va periastr uzunlamasi ω nurli tezliklar chizig'i formasiga bog'liqligi sababli, elliptik harakat nazariyasiga ko'ra yulduzlarni orbita elementlarini barchasini toppish mumkin. Agar $i \neq 90^\circ$ bo'lsa, kuzatishdan aniqlanuvchi nuriy tezlik qiymati $\vartheta_r = \vartheta \sin i$ bo'ladi. Shunday qilib orbita chiziqli parametrlari absolyut qiymatlari spectral ravishda aniqlansa ham nomalum $\sin i$ ga ega bo'ladi. $\sin i$ ni qiymatini spektroskopik yo'l bilan aniqlash mumkin emas. Aytilganlardan xulosa qilib aytish mumkinki, o'zgaruvchi tutiluvchi yulduz (uchun i -ni aniqlash mumkin bo'lsa) nurli tezliklari chizig'i ma'lum bo'lsa, orbita elementlarini hammasini va yulduz xarakteristikalarini to'la aniqlash mumkin. Bunda barcha chiziqli parametrlar kilometrlarda topiladi. Yulduzlarni nafaqat o'lchamlari va formasi topiladi, balki ular massalari ham topiladi.

Hozirgi vaqtda ~ 3000 yulduzlar sistemasining qo'shaloqligi faqatgina spektral analiz yo'li bilan aniqlangan bo'lib, ulardan mingtaga yaqinini nurli tezliklar egri chizig'i aniqlangan.

Spektral qo'shaloq yulduzlarni o'rganilishi bizda juda uzoqda joylashgan yulduzlarni massasini, yorqinligini va radiusini topish imkonini berganligi sababli bu yulduzlar fizikasida o'ta muhimdir.

§1.4. Fizik o'zgaruvchan yulduzlar

Yorqinligi uning ichida yuz beruvchi fizik jarayonlar natijasida o'zgaruvchi yulduzlarga fizik o'zgaruvchan yulduzlar deyiladi. O'zgaruvchanlik xususiyatiga ko'ra pulsatsiyalanuvchi va eruptiv fizik o'zgaruvchi yulduzlarni ajratadilar. Xuddi shunday yangi va o'ta yangi fizik o'zgaruvchi yulduzlar bo'ladi.

Yulduzlar boshida grek alifbosi harflari bilan belgilanmagan bo'lsa, hatto tutiluvchi o'zgaruvchi yulduzlar ham maxsus belgi bilan belgilanadilar. Har bir turkumning o'zgaruvchi yulduzlari 335-chisigacha bo'lgan yulduzlar maxsus lotin alifbosi harflari bilan belgilanadilar. Masalan, *R, S, T, ..., Z, RR, RS', ...RZ* vahokazolar. Keyingi o'zgaruvchi yulduzlar esa *V335, V336* va hokazolar belgilanadilar (masalan *V335* sug).

Yorqinlik egri chizig'i maxsus ko'rinishga ega bo'lgan o'zgaruvchan yulduzlarga Tsefeidlari deyiladi. Tsefeidlarni ko'rinma yulduz kattaligi vaqtga bog'liq ravishda silliq davriy o'zgarib, o'zgarishi yorqinlikni bir necha marotaba o'zgarishiga mos keladi (odatda 2-dan 6-gacha). Bunday yulduzlar *F* va *G* sinfdagi gigant va o'ta gigant yulduzlariga mansub bo'ladilar. Yorqinlikning o'zgarish davri tsefeidalar muhim xarakteristikasidan hisoblanadi. Turli tsefeidalarni davri turlicha bo'lsa ham bitta yulduzning davri aniq doimiy bo'ladi. Tsefeidalarni spektri bitta spectral sinf orasida o'zgarib turadi. Bunday tsefeidalarni ko'rinma yulduz kattaligini o'zgarishi, ularning temperaturasi o'zgarib borishi bilan bog'liqdir, o'rtacha hisobda 1500 k-ga.

Yorqinligi kichik bo'lgan yulduzlar (karliklar) ichidan ham turli tipdagi o'zgaruvchilar borligi kuzatilib turiladi. Bunday yulduzlar soni, pulsatsiyalanuvchi gigantlardan 10 marotaba kamdir. Barcha bunday yulduzlar o'zining o'zgaruvchanligini chaqnashlar, muhitining tashqariga tashlanishi – erupsiyasi

bilan namoyon qiladi. Shuning uchun barcha bunday yulduzlarni, o'ta yangi va yangi yulduzlar bilan birgalikda eruptiv yulduzlar deyiladi.

Bunda shuni qayd qilish kerakki, bu yerga turli- tuman yulduzlar o'zining evolutsiyasini boshlang'ich davrida turgan va ularini oxirini yashayotgan yulduzlar kirishi mumkin.

Yangi yoki o'ta yangi yulduz termini yangi tug'ilgan yulduzni bildirmaydi, faqatgina yulduz o'zgaruvchanligini ma'lum stadiyasini bildiradi. O'zining yashashi davomida, ma'lum vaqtda yorqinligi birdaniga oshuvchi (chaqnash) yulduzlarga yorqinlik o'zgarish darajasiga ko'ra yangi yoki o'ta yangi yulduz deyiladi. Odatda yangi yulduzlar chaqnashi paytida ularni ko'rinma yulduz kattaligi 10^m - 13^m -ga kamayadi. Chaqnashi natijasida absolyut yulduz kattaligi -18^m dan -19^m - gacha hatto -21^m gacha o'zgaradigan yulduzlarga o'ta yangi yulduzlar deyiladi. Yorqinligini o'zgarishi 19^m dan kattaga o'zgaradi. O'ta yangi yulduzlar o'z navbatida ikkita sinfga bo'linadi. O'ta yangi I sinf va o'ta yangi II sinf yulduzlari. I sinfdagi o'ta yangi yulduzlar yorqinligini maksimumida shunday spektrga ega bo'ladiki, unda umuman chiziqlar bo'lmaydi. Keyinchalik shunday spektr polosalari paydo bo'ladiki, ularning joyi ma'lum bo'lgan hechqanday spektr polosasiga mos kelmaydi.

II sinfdagi o'ta yangilarni yorqinligini maksimumi I sinfdagi yulduzlar yorqinligi maksimumidan biroz kichik bo'ladi. Bunday yulduzlar spektrini ultrabinafsh qismini yorqinligini kuchayganligi bilan farq qiladi. Xuddi odatdagi yangilar spektridagi kabi vodorod, ionlashgan azot yutilish va chiqarish chiziqlari kuzatiladi.

Bob-II. Yulduzlar evolutsiyasining oxirgi etaplaridagi obyektlar

§2.1. Oq karliklar

Ma'lum kritik massadan kichik massali yulduzlar uchun gravitatsion siqilish "Oq karliklar" deb ataluvchi stadiyasida to'xtaydi. Oq karliklarning zichligi

10^7 gr/sm^3 dan katta, temperaturasi $\sim 10^4 \text{ K}$ bo'ladi. Bunday katta temperaturada muhit atomlari to'la ionlashgan bo'lib, atom yadrolari elektronlar aynigan gazi daryosi ichida joylashgan bo'ladi. Bunday aynigan gaz bosimi keyingi gravitatsion kollaps bosimiga qarshilik ko'rsatadi. Aynigan elektronli gaz bosimi kvant xususiyatiga ega bo'lib, u elektronlar Pauli prinsipiga bo'ysungani uchun hosil bo'ladi. Pauli prinsipi, har bir elektron egallashi mumkin bo'lgan chegaraviy hajmni belgilaydi. Tashqi bosim bu hajmni kamaytirish holatida bo'lmaydi. Oq karliklarda barcha elektronlar minimal hajmni egallagan bo'lib, gravitatsion siqilish bosimi elektronlarni ichki bosimini muvozanatlagan bo'ladi. Kvant mexanikasidagi Geyzenberg aniqmaslik prinsipidan foydalanib Oq karliklarni maksimal massasini (chegaraviy massani) belgilash ko'rsatadiki, bunday massa $1.4 M_0$ (M_0 – Quyosh massasi)ga tengdir. Shunday qilib aynigan elektronlarni massasi $\sim 1.4 M_0$ massadan kattasini ushlay olmaydi. Agar $0.5 M_0 < M < 1.4 M_0$ bo'lsa, Oq karlik yadrosi geliydan tashkil topgan bo'ladi.

Oq karlik zichligi quyidagi munosabatdan topiladi:

$$\rho = n m_p \approx \left(\frac{\rho_e}{\hbar} \right)^3 m_p$$

Bunda m_p - protonlar massasi, $\hbar$ -Plank doimiysi $\left(\hbar = \frac{h}{2\pi} \right)$. U holda $\rho_e \approx m_e c / 2$ (m_e - elektronning tinchlikdagi massasi) bo'lib

$$\rho \approx \frac{m_p}{(2\hbar / m_e c)^3} \approx 6 \cdot 10^6 \text{ gr / sm}^3$$

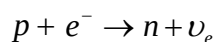
Massasi Chandrasekar massasiga yaqin bo'lgan Oq karlik radiusi uchun quyidagi ifodani topamiz

$$\rho \approx \left(\frac{3 \cdot 1.4 M_0}{4\pi \rho} \right)^{1/3} \approx 5 \cdot 10^3 \text{ km}$$

Oq karliklar yorqinligi quyosh yorqinligini 10^{-2} - 10^{-4} qismini tashkil qiladi. Oq karliklar nurlanishi ulardagi issiqlik energiyasi zaxirasi hisobidan chiqadi. Oq karliklar markaziy qismini asosiy elementlari O, Ne va Mg-dir.

§2.2. Neytronli yulduzlar

Hisoblashlarni ko'rsatishicha massasi $M \sim 25M_0$ bo'lgan o'ta yangi yulduzlar portlashidan, zich massasi $\sim 1.6M_0$ bo'lgan neytronli yadro (neytronli yulduz) qoladi. Qoldiq massasi $M > 1.4M_0$ bo'lgan, evolyutsiyasining o'ta yangi stadiyasida yetishmagan yulduzlarda ham aynigan elektronli gaz bosimi gravitatsiya kuchlarini muvozanatlay olmaganligi uchun bunday yulduz yadro zichligi holatigacha siqila boshlaydi. Bunday gravitatsion siqilishning mexanizmi xuddi o'ta yangi portlashidagi kollaps kabi bo'ladi. Bosim va temperatura shu darajada oshib ketadiki elektronlar va protonlar o'zaro quyidagi reaksiya vujudga kelishiga yaqinlashadi



Neytrinolarni tashlab yuborilgandan keyin, neytronlar hosil bo'ladi. Bunday neytronlar elektronlarga ko'ra ham kichik fazoviy hajmni egallaydi. Neytronli yulduz paydo bo'lsa, uning muhitini zichligi 10^{14} - 10^{15} gr/sm³ ga yetadi. Neytronli yulduzlarning xarakterli o'lchami 10-15 kmga teng bo'ladi. Ma'lum ma'noda neytronli yulduz gigant atom yadrosini hosil qiladi. Neytronlar orasidagi hosil bo'lgan bosim kuchi neytronli yulduzni keyingi kollapsiga qarshilik ko'rsatadi. Bu xuddi Oq karliklarda aynigan elektronli gaz bosimi kabi zichroq joylashgan neytronlar, yadro materiyasining bosimidan iboratdir. Bunday bosim kuchi to $3.2 M_0$ bo'lgan massani ushlay oladi.

Kollaps jarayonida hosil bo'lgan neytrinolar obyektidan chiqib ketib uni tezlikda sovutadi. Nazariy hisoblashlarni ko'rsatishiga obyektning temperaturasi 10^{11} dan 10^9 gacha 100 sekund davomida pasayadi. Keyinchalik sovish tempi pasayadi. Temperaturaning 10^9 dan 10^8 K gacha pasayishi 100 yilda vujudga kelsa, 10^6 gacha pasayishi million yilda vujudga keladi. Neytron yulduzlarni o'lchami kichikligi va temperaturasini pastligi uchun ularni optik usul bilan qayd qilish juda murakkab masaladir.

1967 yilda davriy ravishda elektromagnit nurlarni nurlovchi obyektlar – pulsarlar ochilgan. Ko'pchilik pulsarlarning impulslarining takrorlanish davri

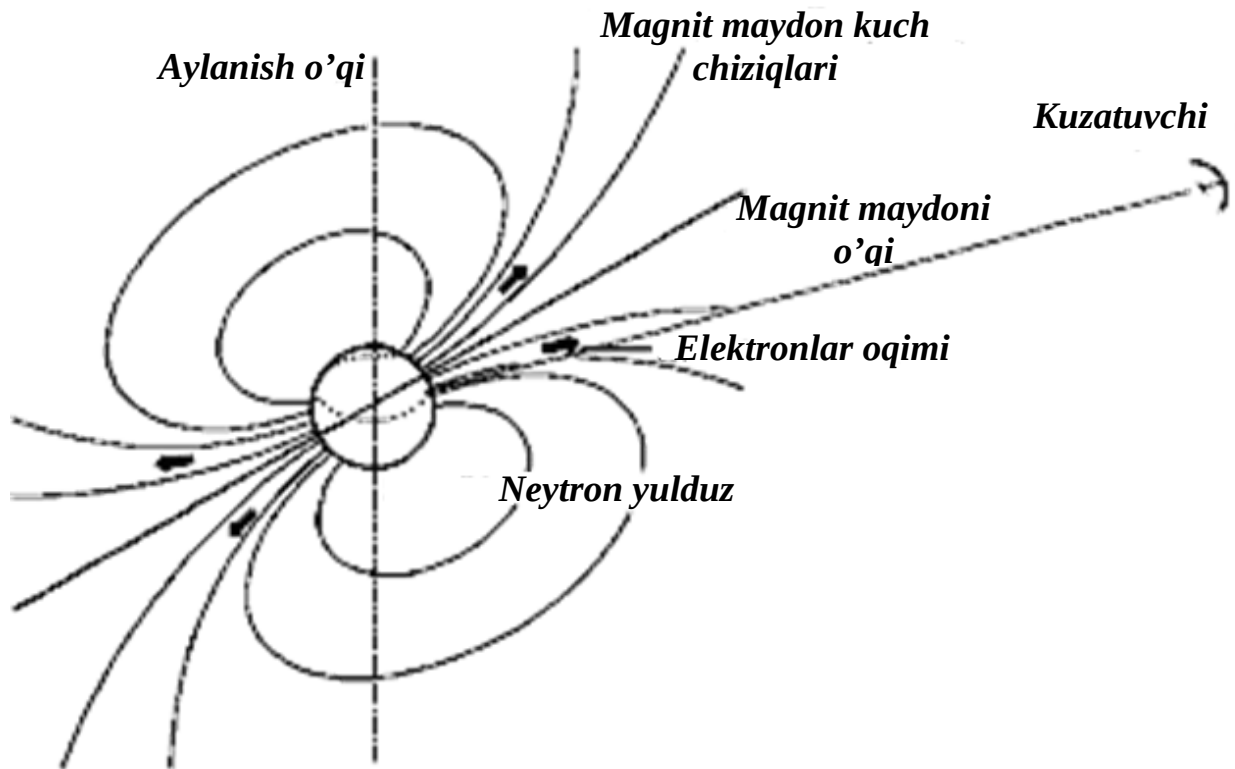
$3,3 \cdot 10^{-2}$ dan $4,3$ s intervalida bo'ladi. Hozirgi zamon tasavvurlariga ko'ra pulsarlar massasi $1-3M_{\odot}$ ga teng, diametri 10-20 kilometr bo'lgan neytronli yulduzlardan iboratdir. Faqatgina neytronli yulduz bo'lgan kompakt obyeyklargina buzilmasdan bunday tezlik bilan aylanishi mumkin. Neytronli yulduzlarni hosil bo'lishida burchak momentini va magnit maydonini saqlanishi, tez aylanuvchi kuchli magnit maydoniga ega ($B \sim 10^{12}$ Gs) pulsarlarni hosil bo'lishiga olib keladi.

O'ta yangi yulduz yadrosini siqilishi aylanishi burchak momentini saqlanishi bilan amalga oshsa,

$$\Omega R^2 = \left(\frac{2\pi}{T} \right) R^2 = const$$

yadro radiusini 10^5 marotaba kamayishi (radiusi 10^{11} santimetr bo'lgan normal yulduzdan radiusi 10^5 sm bo'lgan neytron yulduzi hosil bo'lishida), neytron yulduzi aylanish davri 10^{10} marotaba kamayishi kerak. Yulduzning qisilishi natijasida magnit oqimi ham saqlanishi kerak. Magnit oqimi $\sim BR^2$ (B – magnit maydon induksiya vektori) ekanligini hisobga olsak, yulduz radiusini 10^5 marotaba kamayishi, magnit maydon induksiyasini $\sim 10^{10}$ marotaba kuchayishiga olib keladi. yulduz qisilishdan oldin induksiyasi $\sim 10^2 - 10^3$ Gs bo'lgan magnit maydoniga ega bo'lsa, siqilish oxirida magnit maydoni induksiyasi $10^{12} - 10^{13}$ Gs ga etadi.

Neytron yulduzi o'qi, uning aylanish o'qiga mos kelmaydigan kuchli magnit maydoniga ega bo'ladi. Bunday holatda yulduzning nurlanishi (radio va optik nurlanish) Yer sirtidan xuddi mayoq nurlanishidek tegib o'tadi. Nur Yer sirtini kesganda impuls qayd etiladi. Pulsar kuchli magnit maydoniga aylanayotganligi sababli, unda kuchli elektr maydoni induksiyalanadi. Bu maydon zaryadlangan zarralarni ultrarelyativistik energiyalargacha tezlashtiradi. Bunday zarralar magnit maydon kuch chiziqlari bo'ylab harakat qiladi, issiqlik bo'lmagan nurlanishlarni hosil qiladi. Bunday nurlanishlar tor konus ichida tarqaladi. Nurlanishda uncha katta bo'lmagan energiyasini yo'qotgan zarralar fazoga tarqalib chiqib kosmik nurlarni hosil qiladi. Pulsarni bunday nurlanishini qayd etilish mexanizmi birinchi marotaba Gold tomonidan ilgari surilgan bo'lib, 1-rasmda ko'rsatilgandir.



Rasm-1. Pulsar modeli

Nurlanish oqimi Yerdagi kuzatuvchiga tushganda, radioteleskop davri neytron yulduzining aylanish davriga teng bo'lgan impulsni qayd qiladi. Kelayotgan impulslarining formasi murakkab bo'lib, neytron yulduzining magnitosferasi geometriyasiga bog'liq bo'ladi va har bir pulsar uchun xarakterli bo'lishi mumkin. Pulsarlar aylanish davri aniq doimiy bo'ladi. Pulsarlarning xususiyatlari keyingi boblarda ko'rib chiqiladi. Oxirgi yillarda qo'shaloq yulduzlar tarkibiga kiruvchi juda ko'p pulsarlar borligi qayd etilgan. Agar pulsar ikkinchi komponenta atrofida aylansa, Dopler effekti tufayli pulsar davrining variatsiyasi kuzatilishi lozim. Agar pulsar kuzatuvchiga yaqinlashsa, Dopler effekt tufayli radioimpulslarning davrini qayd etilayotgan qiymati kamaysa, kuzatuvchidan uzoqlashsa oshishi kerak. Aytilayotgan mexanizmlar to'g'ri ekanligiga biz kelgusi boblarda ishonch hosil qilamiz.

Ana shunday effekt natijasida qo'shaloq yulduzlar tarkibiga kiruvchi pulsarlar ochilgan edi. Birinchi marotaba qayd etilgan qo'shaloq yulduzlar

tarkibiga kiruvchi PSR 1913+16 pulsarining orbital aylanish davri 7 soat 45 minutni tashkil etadi. Xususiy aylanish davri esa 59 mikro sekundga tengdir. Pulsarning nurlanishi uning aylanish tezligini kamaytirishi kerak. Bunday effekt kuzatilganligini biz kelgusida ko'ramiz.

Qo'shaloq yulduz tarkibiga kiruvchi neytron yulduzi, kuchli rentgen nurlanishi manbai bo'lishi mumkin. Rentgen nurlanishi neytron yulduziga normal yulduz muhitining akkretsiyasi tufayli hosil bo'ladi. Nurlanish magnit maydoni $B > 10^{20}$ Gs neytron yulduzlarning qutbiy sohalaridan paydo bo'ladi. yulduz aylanishi tufayli rentgen nurlanishi modulyatsiyalanadi. Biz kelgusida ko'ramizki, neytron yulduzi o'zining rivojlanishi jarayonida bir necha fazalarni boshidan o'tkazadi.

Neytron yulduzlari hammavaqt ham o'z ta yangi yulduz chaqnashi natijasida hosil bo'lavermaydi. Neytron yulduzlarni hosil bo'lishini boshqa mexanizmi ham mavjud bo'lib, bunday mexanizm qo'shaloq yulduzlar tarkibidagi oq karlik yulduzga qo'shni normal yulduz muhitini akkretsiya tufayli vujudga keladi. Oq karlikga muhitni oqib kelishi uning massasini oshirishga, massa chegaraviy massadan oshgandan keyin oq karlik gravitatsion kollaps natijasida neytron yulduziga aylanadi. Neytron yulduzini bunday hosil bo'lishi jarayoniga tinch kollaps jarayoni deyiladi. Neytron yulduzi hosil bo'lgandan keyin ham muhit akkretsiyasi davom etsa, neytron yulduzi qora tuynukga aylanishi mumkin.

§2.3. Qora tuynuklar

Neytron yulduzlar qancha massani muvozanatda ushlay olishini biz yuqorida ko'rib chiqdik. Bunday chegarani aniq hisoblash imkoni yo'q, chunki muhitni yadro materiyasi zichligidan katta zichlikda bo'lgandagi xususiyatlarini tushintiruvchi nazariya yo'q. Aynigan neytronlar tufayli stabilizatsiyalanuvchi yulduz massasini taxminiy bahosi $\sim 3M_{\odot}$ qiymatini ko'rsatadi.

Shunday qilib o'z ta portlash natijasida yulduzning $> 3M_{\odot}$ massasi saqlanib qolsa, u holda u ustuvor neytron yulduzi ko'rinishida bo'la olmaydi. Yadro

kuchlari keyingi gravitatsion kollapsni ushlay olmaydi. Keyingi gravitatsion siqilish natijasida “qora tuynuk ” deb ataluvchi obyekt hosil bo’ladi. Qora tuynuklarni asosiy xususiyati shundan iborat bo’ladiki, undan hech qanday signal, nurlanishlar ham chiqib keta olmaydi. M massali yulduz kollapslanib qora tuynukka aylanib, Shvartsschild sferasi radiusiga erishadi.

$$r_g = 2GM/c^2$$

bunda, G – gravitatsion doimiylik, M – massa, c – yorug’lik tezligi.

Obyektning Shvartsschild sferasi radiusiga erishilgandan keyin uning gravitatsion maydoni shu darajada kuchayadiki, endi undan hatto elektromagnit nurlanishlari ham chiqib keta olmaydi. Shvartsschild qora tuynugi aylanmaydigan obyekt bo’lib, u aylanmaydigan massiv yulduzni kollapsi natijasida hosil bo’ladi. Aylanuvchi katta massali yulduzlar aylanuvchi massiv qora tuynuklarga (Kerr qora tuynugiga) aylanadi.

Qora tuynuklarni teskari yo’l bilan, agar ular ko’rinuvchi yulduz bilan qo’shaloq sistemaga kirsam, kuzatish mumkin. Bu holda qora tuynuk ko’rinuvchi yulduzni gazini so’radi. So’rilayotgan gaz temperaturasi ko’tarilib, intensiv rentgen nurlanishi manbaiga aylanadi. Bunday rentgen nurlanishini qayd etilishi qora tuynuklarni qayd etadi.

Yulduzlarni kollapsi natijasida hosil bo’lgan yulduzlar bilan birgalikda katta portlashni bir jinsli bo’lmaganligi sababli koinot evolyutsiyasining boshlang’ich davrlarida, hali yulduzlar paydo bo’lmasdan tug’ilgan qora tuynuklar bo’lishi mumkin. Bunday qora tuynuklarga relikt qora tuynuklari deyiladi. Faraz etiladiki bunday qora tuynuklarning ba’zilarini o’lchami proton o’lchamidan ham kichik bo’lishi mumkin.

1974 yili Xoking ko’rsatishicha, qora tuynuklar zarralar chiqaradi. Bunday zarralarning manbai bo’lib vakuumda zarra – antizarra juftini hosil bo’lishi xizmat qiladi. Odatdagi maydonlarda bunday juftlar shunday tez annigilyatsiyalanadiki, ularni kuzatish mumkin emas. Qora tuynuk chegarasida kuchli tortilish maydoni ta’sir etganligi sababli zarralar juftini biri qora tuynuk tomonidan tortilib yutilsa,

ikkinchisi uzoqqa ketadi va Xoking nurlanishi vujudga keladi va bunda qora tuynuk massasi kamayadi.

Bob-III. Yulduzlar evolutsiyasining oxirgi etaplaridagi jarayonlar

§ 3.1. Yulduzlar qanday o'ladi

Yulduzlar abadiy emas. Ular tug'iladi, yashaydi va o'ladi. Yulduz tug'ilgandan keyin juda uzoq vaqt o'zgarmas, deyarli statsionar holatda bo'ladi. Ularning bunday ustuvor statsionar holatida yulduzni qisilishiga majbur etuvchi gravitatsion kuch va uni kengayishga majbur etuvchi issiq gaz bosim kuchi hamda nurlanish bosim kuchi yig'indisi orasidagi muvozanati tufayli vujudga keladi. Har sekundda yulduzlarning sirtidan nurlanish ko'rinishida juda ko'p issiqlik energiyasi chiqib turadi. Energiyani bunday nurlanishi ularning qa'rida kechuvchi termoyadro reaksiyalari natijasida kompensatsiyalanadi. Uning tarkibidagi vodorodning (yadro energiya zapasini belgilovchi) asosiy qismi yonib tamom bo'lguncha, tashqi ko'rinishida hech qanday o'zgarish yuz bermaydi. Bunday zapas miqdori juda ko'p bo'lsa ham chegaralangandir. Masalan massasi Quyosh massasiga teng ($M_G \approx 2 \cdot 10^{33} \text{ gr}$), yorqinligi $L \approx 4 \cdot 10^{33} \text{ erg/s}$ bo'lgan yulduz hammasi bo'lib ~ 10 mlrd. yil yashaydi. Yulduzlarning massasini oshishi bilan yorqinlik miqdori keskin oshadi va $M \approx 10 M_G$ massali yulduz ~ 10 mln. yil yashaydi. O'zining yadro energiya zapasini tugatgan yulduz bilan qanday hodisa yuz beradi? Tushinarliki, yulduzda issiqlik manbai tugagandan keyin gaz bosimi gravitatsiya kuchini kompensatsiyalay olmaganligi sababli, gravitatsiya kuchi ta'siri ostida siqila boshlaydi. Biror narsa bu siqilishni to'xtata oladimi?

Hisoblashlarni ko'rsatishicha, massasi Quyosh massasidan kichik bo'lgan yulduzlar, qisilib evolyutsiyasi jarayonida oq karliklarga aylanadi. Oq karliklarda og'irlik kuchi kvant xususiyatiga ega bo'lgan aynigan elektronlar bosimi tomonidan kompensatsiyalanadi. Yangi hosil bo'lgan oq karlik muhiti issiqlik energiyasi (og'ir zarralar – ionlar harakatining kinetik energiyasi) zapasi yetarlicha

katta bo'ladi. Shuning uchun bunday ob'yektlar asta-sekinlik bilan so'nib (bir necha million yil davomida) energiya nurlaydi. Oq karliklar juda ko'p miqdorda kuchsizlanuvchi ko'k obyektlar ko'rinishida kuzatiladi.

Lekin barcha yulduzlar ham shunday tinch va sekin so'nmaydi. 1930 yillar hindistonlik astrofizik Chandrasekar ko'rsatdiki, agar yulduzning massasi $1,2M_{\odot}$ – dan katta bo'lsa, aynigan elektronlarni bosim kuchi gravitatsiya kuchini kompensatsiyalay olmaydi va bunday yulduz yana siqiladi. Bunda nisbatan engil yulduzlar sekunlik bilan siqilsa va uning markazida oq karlik tug'ilsa, $M > 1,2M_{\odot}$ li yulduzlarda siqilish natijasida shunday bir davr vujudga keladiki, u o'zining mexanik ustuvorligini buzadi va o'zining markaziga qarab shunday katta tezlik bilan siqiladiki, siqilish katastrofa shaklini oladi. Bunday katastrofik yulduzlar shunday tezlik bilan siqiladiki, juda kichik vaqtdan keyin yulduz markazidagi muhit zichligi yadro muhiti zichligiga ($10^{14} \div 10^{15} \text{ gr/sm}^3$) yetadi. Olimlar yulduzlar kollaps jarayonini tekshirib bir necha holatlar bo'lishi mumkin ekanligini ko'rsatdilar. 1930 yilda L.D.Landau tomonidan ko'rsatilishicha yulduz $10^{14} - 10^{15} \text{ gr/sm}^3$ zichligacha siqilganda yangi ustuvor holatga o'tishi mumkin. Bunday golatda yulduzning muhiti asosan neytronlardan tashkil topgan bo'ladi. Bunday holatda gravitatsion bosim milliard marotaba oshgan bo'lib, u aynigan neytronlar bosimi tomonidan muvozanatlanadi. Bunday obyektlarga neytronli yulduz deyilib, ularning xususiyatlarini biz yuqorida ko'rib chiqqan edik.

Neytronli yulduzning radiusi bir necha kilometrga teng bo'ladi. Kollaps boshlanishida bir necha million radiusga ega bo'lgan yulduzni kichik vaqt davomida bir necha radiusli yulduzga kollapslanishida undan ulkan miqdorda energiya ajralib chiqadi. Bunday yulduz tashqi qobiqlari muhit portlash natijasida bir necha ming km/s tezlik bilan uchib ketadi. Portlash natijasida energiyaning katta ulushi elektromagnit nurlanish shaklida yulduz sirtidan chiqib, unung yorqinligi bir necha o'n kun davomida galaktikadagi yulduzlarning yorqinligiga teng yoki undan katta bo'ladi. Bunday portlashga o'ta yangi portlash deyiladi. O'ta yangi portlashga misol qilib, 1054 yilda kuzatilgan portlashni ko'rsatish mumkin. Bunday o'ta yangi portlashni o'rnida hozirgi vaqtda Krabovid tumanligi paydo

bo'lgan. 1968 yilda Krabovid tumanligi markazida impulsli radionurlanish manbai NP0532 borligi aniqlandi. Ko'pchilik mutaxasislarning qayd qilishicha, bu obyekt aylanuvchi neytronli yulduzdan iboratdir.

Hamma vaqt ham yulduzlarning kollapsi neytronli yulduz hosil bo'lishi bilan tugallanadimi? Hisoblashlarni ko'rsatishicha katasrofik qisilish boshlanishida yulduz tashqi qobiqlarida hali termoyadro reaksiyasiga qo'shilmagan ancha muhit miqdori bo'ladi. Yulduzni katta tezlik bilan siqilishi jarayonida bunday muhitni detonatsiyasi (yadroviy portlashi) vujudga kelib, unda katta energiya ajraladi. Bunday energiya yulduz muhitini atrof fazoga uloqtirishga yetarli bo'ladi. Bu holda yulduzdan faqatgina kengayuvchi tumanlik qolib, hech qanday neytronli yulduz hosil bo'lmaydi. Bir necha o'ta yangi portlashlarda pulsarlar yo'qligi bunday variant to'g'riligini tasdiqlaydi. Ehtimol qandaydir sababga ko'ra ularni biz kuzata olmagan. Shuning uchun biz katta aniqlik bilan pulsarsiz o'ta yangi portlashlar to'g'risida gapirmasligimiz kerak.

Gravitasion kollapsning yana bir yo'li mavjud, chegaralanmagan relyativistik kollaps jarayoni. Amerikalik astrofizik Opengeymer va uning shogirdlari neytronli yulduzlar muvozanatli konfiguratsiyalarini hisoblash yo'li bilan o'rganib, shu xulosaga keldilarki, bunday obyektlar ma'lum chegaraviy massadan katta massali bo'lganlarida ustuvor muvozanat holatida bo'la olmaydilar. Bunday chegaraviy massani aniq qiymati neytroli yulduzlar muhitini o'ta katta siqilish zichligi holat tenglamasidan aniqlanadi. Bu holat tenglamasiga ko'ra neytronli yulduz kritik massa qiymati $1,5M_{\odot}$ dan $3M_{\odot}$ gacha intervalda yotadi (bunday chegaralanganlik umumiy nisbiylik nazariyasiga ko'ra belgilanadi). Neytron yulduzi sirtidagi og'irlik kuchi yer tortishidan milliardlar marotaba katta bo'ladi. Neytronli yulduz sirtidagi ikkinchi kosmik tezlik, ya'ni neytronli yulduz tomonidan tortish kuchini yengib, jismni cheksizlikka uzoqlashish tezligi 100000 km/s - ni tashkil etadi. Bunday sharoitlarda ma'lumki relyativistik effektlar etarlicha bo'lib va shuning uchun kritik massaga aniq chegara hosil bo'ladi.

Agar yulduz massasi uning evalutsiyasi oxirida neytronli yulduz chegaraviy massasidan katta bo'lsa, u bilan nima ro'y beradi? Agar kollaps boshlanishida

obyekt markazida yadro muhiti zichligi erishilgan bo'lsa, u ortiqcha massasini uloqtirmaydi. Bunday yulduz ortib boruvchi gravitatsiya kuchi tasiri ostida siqila boshlaydi. Hisoblashlarning ko'rsatishicha, yulduzning radiusi gravitatsion radius $r_g = 2GM/c^2$ - gacha kamayganda, hech qanday itarish kuchi relyativistik kollaps jarayonini to'xtata olmaydi. Bunda yulduz atrofida fazo va vaqt xususiyatlari radikal ravishda o'zgaradi, gravitatsiya kuchlari fazo-vaqtni kuchliroq egadi.

Yulduz sirtidan uzoqda uni kuzatuvchi uchun va yulduzni sirtida bo'luvchi va yulduz markaziga harakat qiluvchi kuzatuvchi uchun relyativistik kollaps jarayoni turlicha bo'ladi. Yulduz sirtidagi kuzatuvchi soatiga ko'ra, yulduz chegaralangan vaqt bo'lagida gravitatsion radiusga erishib, yana siqilishda davom etadi. Relyativistik nazariyaga ko'ra bunday cheksiz katta zichlik chekli vaqt davomida yuz beradi. Lekin zichlik 10^{93} gr/sm^3 ga erishilganda gravitatsiyani kvant effektlari yetarlicha bo'ladi. Bunday holatlarni kvant tortilish nazariyasi yo'qligi tufayli, bunday tushuvchi yulduz uchun kollaps nima bilan tugallanishi to'g'risida hali biz ayta olmaymiz. Kollapslanuvchi yulduzdan yetarlicha uzoqda turuvchi kuzatuvchi uchun bu muhim emas. Bunday kuzatuvchi hech qachon gravitatsion radiusi yulduz sirtini kesimini ko'rmaydi. Vaqtni gravitatsion sekinlashish effekti tufayli bunday kuzatuvchi uchun yulduz cheksiz katta vaqt davomida gravitatsion radiusga yaqinlashadi. Agar yulduz sirtida qandaydir davriy signal manbai bo'lsa, yulduz sirtini gravitatsion radiusga yaqinlashgani sari, uzoqdagi kuzatuvchi uchun signallarni qayd qilish vaqti intervali oshib boradi. Oxir-oqibat shunday bir moment keladiki, keyingi signal kelish vaqti cheksizga teng bo'ladi. Bunda uzoqdagi kuzatuvchi uchun yulduzning yorqinligi kamayib boraveradi. Yulduz binafshadan qizilga, keyin infraqizilga aylanib, keyin so'nadi. Umuman obyektlar nurlaydi, lekin uning gravitatsion maydoni shu darajada katta bo'ladiki, chiqayotgan fotonlarni qaytarib obyektga tushiradi. Hech qanday nurlanish (elektromagnit, gravitatsion va boshqalar) bunday obyektidan chiqib keta olmaydi. Bunday obyektlarga qora tuynuklar deyiladi. Burchak momenti, elektrik zaryadi va tashqi statik gravitatsion maydonni hosil qiluvchi massa "qora tuynuk" ni xarakterlovchi yagona parametrlar bo'ladi.

Sferik simmetrik kollaps masalasi K. Shvartssild tomonidan 1916 yili yechilgan bo'lib, real massiv yulduzlarni kollapsi to'g'risidagi xulosalar 20 yildan keyin qilingan edi. Qayd qilish kerakki, XVIII asrda Laplas gravitatsion potensial GM/r – ni yorug'lik tezligi bilan harakat qilayotgan solishtirma kinetik energiyasiga tenglashtirib, radius qiymatini topgan edi. Osongina ko'rish mumkinki, bu radius qiymati gravitatsion radius $r_g = 2GM/c^2$ - ga tengdir.

Neytronli yulduzlar va qora tuynuklarga relyativistik obyektlar ham deyiladi, chunki bunday obyektlarda relyativistik effektlar katta rol o'ynab, ularni o'rganishda umumiy nisbiylik nazariyasidan foydalanish kerak bo'ladi. Lekin neytronli yulduzlarni o'rganish uchun Nyuton mexanikasidan ham foydalanish mumkin. Bunda yulduz haqiqiy parametrlarini qiymatida 10 – 20% li chetlashishlar vujudga keladi. Lekin neytron yulduzning kritik massasini toppish uchun relyativistik nazariya qonunlaridan foydalanish lozim. Faqatgina shu nazariya asosida neytron yulduzning kollapslanib, qora tuynukga aylanishini to'g'ri ifodalash mumkin.

Qora tuynuk gravitatsion radiusidan katta masofada uning gravitatsion maydoni nuqtaviy massa potentsiali GM/r – dan kam farq qiladi (Masalan, agar Quyosh o'rniga Quyosh massasiga teng massali qora tuynuk joylashganda, bu sistemadagi sayyoralar harakatida hech qanday o'zgarish kuzatilmaydi. Sayyoralar o'sha orbita, o'sha davr bilan harakat qilar edi, faqatgina markaziy yoritgich bo'lmas edi). Shuning uchun “qora tuynuk” atrofidagi fizik jarayonlarni va jismlar gravitatsion radiusdan etarlicha uzoqda bo'lganlarida harakat qonunlarini Nyuton mexanikasi yordamida katta aniqlik bilan ifodalash mumkin edi, ya'ni relyativistik qonunlardan foydalanmasdan, Nyuton mexanikasidan foydalanib relyativistik obyektlar ko'rinuvchi xususiyatlarini aniqlashimiz mumkin.

§3.2. O'lgan yulduzlarni kuzatish mumkinmi?

1967 yilda ingliz astrofiziklari tomonidan qayd etilgan neytron yulduzi, o'z o'qi atrofida aylanuvchi va kuchli magnit maydoniga ega bo'lgan pulsardan (yuqori paragraflarga qarang) iborat. Ma'lum bo'lgan barcha radiopulsarlar 1974 yilda qayd etilganidan tashqari, toq manbadan iboratdir. Biz toq pulsarlarni asosiy faktlariga e'tibor berib, qo'shaloq va karrali pulsarlarni kengroq ko'rib chiqamiz. Hozirgi vaqtda yuzdan ziyod pulsarlar borligi aniqlangan. Pulsarlar (yuqori paragraflarda qayd etilganidek) ko'pchiligi impulsli radiopulsar singari qayd etilgan bo'lib, ulardan aniq teng vaqtli (masalan, CP 1919 manbasi chiqaradigan impulsni davri $1,33730110168 \pm 7 \cdot 10^{-11}$ s ga teng) davr bilan radioimpulsar qayd etiladi. Bunday davrlarning qiymati hozirda ma'lum bo'lgan pulsarlar uchun bir necha yuzdan bir sekunddan, bir necha sekund intervalida joylashadi. Eng kichik davr 0,033 sekungga teng bo'lib, bunday davr bilan Krabovid tumanligidagi manba nur yuboradi. Pulsarlar keng spektral diapozon metrdan to santimetrgacha faqatgina NP 0532 pulsari yana optik diapozonda kuzatiladi. Vaqt o'tishi bilan pulsarlarni davri sekinlik bilan oshib boradi. Hozirgi vaqtda eng yosh NP 0532 pulsarining davri ikki marotaba 2000 yil davomida oshadi. Ko'pchilik pulsarlarni davrini ikki marotaba oshish vaqti taxminan million yildan katta bo'ladi.

Bunday manbalarni birinchi marotaba kuzatganlar (Xyush va boshqalar) pulsarlar neytron yulduzi ekanligini faraz qilgan edi. Haqiqatda pulsarlarni davri boshqa yulduzlarni tebranish yoki aylanish davridan anchagina kichikdir. Faqatgina kompakt neytron yulduzlarigina shunday tezlik bilan o'z o'qi atrofida aylanib, markazdan qochma inertsia kuchlari nihoyat katta gravitatsion kuchlari borligi tufayli ularni bo'laklarga bo'lib yubora olmaydi. Pulsarning yuzida yoki uning sirtida kichik yo'nalishli diagrammaga (ya'ni kichik konusga) ega bo'lgan elektromagnit nurlanishlarni chiqaruvchi aktiv sohasi mavjuddir. Neytron yulduzi aylanayotganligi sababli bu konus uzoqdagi kuzatuvchini, neytron yulduzini o'z o'qi atrofida aylanish davriga teng vaqt intervali bilan kesadi, ana shunda bunday nurlanish kuzatuvchi tomonidan qayd etiladi. Pulsarlarning nurlanish mexanizmi

ular o'qi pulsarning aylanish o'qiga mos kelmaydigan kuchli magnit maydoniga ega ekanligi bilan tushuntiriladi.

Neytron yulduziga bunday kuchli ($10^{11} - 10^{12}$ Gs) magnit maydoni qayerdan paydo bo'lgan va u nima uchun bunday tez aylanadi? Gap uning kompakt obyekt ekanligida ekan. Bizning Quyosh (uning radiusi 700000 km ga teng) o'z o'qi atrofida taxminan bir oy davomida bir marotaba aylanadi. Uni taxminan 10 km radiusli obyektgacha siqilishini tasavvur eting. Aylanish momentini saqlanish qonuniga ko'ra bunday obyektning aylanish davri milliard marotaba kamayishi kerak (konkida uchuvchi figurali sportchilar o'zining aylanishini oshirish uchun qo'llarini o'ziga siqadi). Kosmik fazo sharoitida yulduzning qisilishi natijasida "muzlanish" deb ataluvchi effekt natijasida uning magnit momenti keskin oshishi kerak.

Pulsarlarni kuchli elektromagnit nurlanish manbai ekanligini tushuntirish qoldi. Bunday manba bo'lib, neytron yulduzining o'z o'qi atrofida aylanish kinetik energiyasi hisoblanadi. Impulslar kelish davrini oshishi, vaqt o'tishi bilan ularni aylanish kinetik energiyasini kamayishi bilan tushuntiriladi. Shunday neytronli yulduzlar yordamida (o'lgan yulduzlar ular o'zining evolyutsiyasi davrida shu holatga keladi) pulsarlarni kuzatiladigan barcha xususiyatlari tushuntiriladi. Lekin pulsarlarga bog'liq bo'lgan bir necha hodisalar mavjudki, ular hali oxirigacha tushuntirilmagan. Bundan tashqari hali neytron – pulsar yulduzlarni paydo bo'lish aniq nazariyasi ham mavjud emas.

Radiopulsarlar qayd etilgandan keyin uncha ko'p vaqt o'tmasdan rentgen pulsarlari (rentgen nurlanish diapozonida nurlanuvchi obyektlar) qayd etildi. Radiopulsarlar tasodifan qayd etilgan bo'lsa ham qo'shaloq yulduzlarda rentgen pulsarlarini mavjud bo'lishi nazariy isbot etilgan, lekin bungacha tajribada bir nechta rentgen pulsarlari qayd etilgan. 1970 yilda uchirilgan "Uxuru" Yerning sun'iy yo'ldoshini uchirish natijasida neytron yulduzlarini yangi sinflarini ochilishiga sabab bo'ldi. Bu sun'iy yo'ldoshi yordamida o'tkazilgan tajribalar AQSH lik astrofizik Djiakoni yordamida o'tkazildi. Yerning sun'iy yo'ldoshlari yordamida o'tkazilayotgan izlanishlar turli-tuman va raketalar yordamida olingan

natijalarga ko'ra hajmi kattadir, chunki Yerning sun'iy yo'ldoshlari doimiy ravishda kuzatish olib borish imkonini beradi. "Uxuru" yordamida olib borilgan izlanishlar ko'rsatdiki, bir qator yorqin rentgen manbalari (xuddi shunday rentgen pulsarlar) ma'lum vaqt intervalida davriy ravishda o'chib qoladi. Ma'lum bo'lishicha manbaning o'chib qolishi uni qo'shni rentgen oblastida nurlanmaydigan normal yulduz tomonidan to'silishi bilan bog'liqdir. Rentgen pulsarlaridan bundan tashqari regulyar ravishda alohida impulslarni chastotasini o'zgarishi yuz beradiki, u pulsarni qo'shaloq yulduz orbitasi bo'ylab harakat qilganida, Dopler effektga bog'liq ravishda vujudga keladi. Yulduz kuzatuvchiga qarab harakat qilganida impulslar tezroq, qarama-qarshi tomonga qarab harakat qilganida sekinroq qabul qilinadi. Keyinchalik tezlik bilan optik teleskoplar yordamida yana optik diapozonda nurlanuvchi qo'shaloq yulduzlarni komponentalari qayd etilgan edi.

Qo'shaloq yulduzlar ichida pulsarlardan tashqari yana shunday obyektlar qayd etilganki, ular juda noregulyar rentgen oqimlarini chiqaradi. Bunday nurlanishni xarakterli vaqti millisekund ulushlaridan o'n sekundgachani tashkil qiladi. Bunday manbalarni to'liq o'rganilishini ko'rsatishicha, ular ham neytron yulduzlaridir. Rentgen neytron yulduzlarining nurlanishini manbasi muhitni unga akkretsiyasi hisoblanadi.

§3.3. Relyativistik yulduzlarning akkretsiya jarayoni, ular nurlanish energiyasi manbai

Agar boshlang'ich paytda uzoqda tinch turgan jismga yerga erkin tushish imkoni berilsa, u yer bilan to'qnashishda gravitatsion maydonda tezlashishi natijasida olgan tezligiga ega bo'lib, bu tezlik ikkinchi kosmik tezlik $\vartheta = \sqrt{2GM_{yer}/R_{yer}} = 11,2 \text{ km/s}$ - ga teng bo'ladi. m massali jismni yer atmosferasiga kirishida va yer sirti bilan to'qnashishida, uning boshlang'ich potensial (gravitatsion) energiyasiga teng bo'lgan kinetic energiyasi - $m\vartheta^2/2$ issiqlikka aylanadi. Masalan meteorit tushganida ana shunday bo'ladi. Endi muhitni neytron

yulduziga tushishini tasavvur etaylik. Tortilish muhitni yorug'lik tezligini birdan uch qismiga teng tezlik (100000 km/s) gacha tezlashtiradi. Natijada bunday muhitni neytron yulduzi sirti bilan to'qnashishida zarrachalar tinchlikdagi energiyasi mc^2 - ni 10-15% i ajraladi (bu energiya yadro reaksiyalarida ajraladigan energiyadan o'nlab marotaba ortiqdir). Muhitni obyekt yuziga bunday tushishiga uning akkretsiyasi deyiladi. Akkretsiya tufayli gravitatsion energiya ajraladi va muhit tushayotgan obyekt massasi oshadi. Akkretsiya tufayli neytron yulduzining sirt temperaturasi million va o'n million gradusgacha ko'tariladi. Bunday yuqori temperatralarida neytron yulduzi kvantlarining xarakterli energiyasi 1-10 keV bo'lgan rentgen nurlanishini chiqarishi kerak. Akkretsiyalanuvchi muhitning yetarli miqdorigacha neytron yulduzi rentgen nurlanishi chiqarib turadi, nazariyaning ko'rsatishicha neytron yulduzining massasi kritik massadan oshgandan keyin u qora tuynukka aylanadi.

Qora tuynuklar ham muhitni unga akkretsiya tufayli nurlanishi mumkinmi? Yuqorida qays etilgan ediki, qora tuynuklar juda kuchli gravitatsion maydonga ega bo'lib, ularga tushuvchi muhitni yuqori energiyagacha tezlashtirishi mumkin. Lekin qora tuynuklarni ularga muhit tushganda energiya ajraladigan yuzasi yo'q. Muhitni sferik-simmetrik (radial) tushganida muhit gravitatsion radius ostiga ketib, o'zi bilan kinetic energiyasini olib ketadi. Lekin muhit radial bo'lmagan holda tushayotgan bo'lsa hammasi boshqacha bo'lishi mumkin, tezlashuvchi zarralar o'zaro to'qnashishi mumkin (bu gazli bulutlarga nisbatan harakat qilayotgan qora tuynuk uchun xarakterlidir).

1964 yilda rus fizigi L.B.Zeldovich va AQSHlik astrofizik Y.Solpiterlarni ko'rsatishicha, gaz bulutlarida qora tuynuklarni tovush tezligidan katta tezlik bilan harakat qilganlarida hosil bo'luvchi zarbali to'lqinlarda, o'zaro ta'sir etuvchi zarralar tinchlikdagi massasini 10-20%i ajralishi mumkin. Zarbali to'lqinda zarralar gravitatsion radius yaqinida qancha yaqin joylashgan bo'lsa, shuncha katta tezlikka ega bo'lib, ularni o'zaro to'qnashishida shuncha katta energiya ajraladi. Zarbali to'lqinlardagi muhit o'n gravitatsion radius masofada o'n million gradusgacha qiziydi. Gravitatsion radius yaqinida esa gravitatsion maydon shu

darajada kattaki, zarralarning o'zaro ta'sirida hosil bo'luvchi nurlanish juda qizarib chiqadi yoki umuman qora tuynuk tomonidan yutiladi. Lekin 2-3 gravitatsion radiusdan uzoqda o'zaro ta'sir etuvchi zarralar energiyasi hali katta va gravitatsion maydon chiquvchi nurlanish energiyasiga yetarlicha ta'sir ko'rsatmaydi. Shunday qilib neytron yulduzlari ham, qora tuynuklar ham ularga muhit akkretsiya bo'layotganda effektiv nurlanish manbai bo'la oladi.

Tushunarliki relyativistik manbaga qancha ko'p muhit akkretsiyalansa, ularning yorqinligi shuncha katta bo'ladi. Rentgen manbalarining (10^{37} - 10^{39} erg/s) yorqinligini tushuntirish uchun ularga bir yilda 10^{-11} - 10^{-9} $M_{\odot}$ massadagi muhit akkretsiyalanadi deb olish yetarlidir.

Yakka yulduzlarni evolyutsiyasi jarayoni natijasida hosil bo'luvchi, yakka relyativistik obyektlar yoki o'ta yangi portlash natijasida hosil bo'luvchi relyativistik obyektlarga yulduzlararo gaz akkretsiyalanadi. Lekin yulduzlararo gazning zichligi juda past (bitta atom 1 sm^3 hajmda) va bunday gaz yuqori yorqinlikni taminlay olmaydi. Qo'shaloq yulduzlarda esa fazodagi gaz bilan normal yulduz muhiti akkretsiya manbai bo'lib hisoblanadi va bunda akkretsiya o'n million yillar davom etadi.

Galaktika yulduzlarining 50% dan ortig'i karrali yulduzlar (ikkilangan, uchlangan va hokazolar) tarkibiga kiradi. Bu yulduzlarni barchasi relyativistik obyektlarni hosil bo'lishida buziladi, ular biror tezlik bilan massasini yo'qotib akkretsiya manbaiga aylangan. Quyosh shamoli Yer sirtidan 400 km/s o'rtacha tezlik bilan o'tib, bir yilda Yer sirtidan $2 \cdot 10^{-14} M_{\odot}$ massani olib ketadi. Agar Quyosh yaqinida qora tuynuk yoki neytron yulduzi joylashganda, Quyosh muhiti ularga tushib, Quyosh yaqinida yorqinligi Quyosh yorqinligidan 10 marta kichik obyekt nurlanar edi. Shunday yulduzlar kuzatilganki, ularni massa yo'qotish tezligi Quyosh massa yo'qotish tezligidan milliardlab kattadir. Ba'zilarida massa yo'qotish tezligi bir yilda 10^{-6} - $10^{-5} M_{\odot}$ ga yetadi. Bunday muhitni hatto kichik qismini qo'shaloq yulduzni relyativistik obyektiga akkretsiyasi kolosal katta energiya ajralishiga olib keladi.

Rentgen nurlanish manbalari qayd etilgandan ozgina vaqtdan keyin rus olimlari L.B.Zeldovich va I.D.Novikovlar ko'rsatdilar, qora tuynuk yoki neytron yulduzlari qo'shaloq yulduzlar sistemasiga kirganlarida normal yulduzdan ularga muhit akkretsiyasi natijasida rentgen nurlanishi manbasi hosil bo'lishi mumkin. Skorpion X-1 xuddi shunday manba bo'lishi mumkin.

1967 yilda rus astrofizigi I.S.Shklovskiy Skorpion X-1 ning kuzatish natijalarini analiz qilib, bu manba qo'shaloq yulduzlar tarkibiga kiruvchi va unga muhit akkretsiyasi bo'layotgan neytron yulduzi degan xulosaga keldi. Lekin haligacha bunday obyektning qo'shaloqligi oxirigacha isbot etilmagan. Lekin neytron yulduzlari bilan rentgen juftlari qayd etilgan edi.

1969 yilda L.B.Zeldovich va N.I.Shakura akkretsiyalanuvchi neytron yulduzlarini rentgen nurlanishini xususiyatlarini analiz qilib, bunday nurlanish spektrini hosil qildilar. Bu spektr galaktik rentgen manbalarini spektriga yaqin bo'lib chiqdi. Pulsar, neytronli yulduzlar ochilgandan keyin ularning asosiy xususiyati nurlanishini impulsli xarakteri aniqlandi. Nurlanishlarining impulsli xarakteri neytronli yulduzlarni aylanishiga va kuchli magnit maydoniga ega ekanligiga bog'liqligini biz yuqorida ko'rdik. Qo'shaloq yulduzlarning komponentalaridan birini tez evolyutsiyasi natijasida hosil bo'lgan neytron yulduzi o'zini qanday tutadi? Bu muammoni analiz qilib rus astrofizigi V.F.Shvartsman ko'rsatdiki, agar o'ta yangi portlash natijasida hosil bo'lgan neytron yulduzi qo'shaloq yulduzi komponentasi bo'lib qolsa, u rentgen nurlanishi manbasiga aylanadi. Bir yildan keyin "Uxuru" yo'ldoshi yordamida qo'shaloq sistemalarda birinchi rentgen pulsarlari Gerkules X-1 va Sentavr X-3 qayd etilgan edi. Hozirgi vaqtda qo'shaloq yulduzlardagi rentgen manbalari to'g'risida ancha material to'plangan. Bu material asosida rus astrofiziklari A.F.Illarionova va R.A.Syunyayeva hamda AQSH lik olimlar F.Lemba, K.Petika tomonlaridan (Nyuton mexanikasi ramkasida) neytron yulduzlari magnit maydonini qo'shni yulduzdan oquvchi muhit bilan ta'siri masalasi ko'rib chiqilgan edi. Hisoblashlarni ko'rsatishicha neytron yulduzi bunday ta'sir natijasidagi evolyutsiyasida bir necha etaplarni o'tishi kerak. Bunda u boshlang'ich paytda yosh tez o'zgaruvchi

radiopulsar ko'rinishida (bu vaqt mobayniga pulsarning ejeksiyalanish fazasi deyiladi) kuzatilishi lozim. Neytron yulduzini aylanishini sysayishi bilan nisbatan uzoq vaqt davom etuvchi evolyutsiya davri boshlanishi kerak. Bu vaqtda yulduzdan regulyar impulslar yo'qoladi (bunday fazaga propeller fazasi deyiladi). Oxir oqibat akkretsiyalanuvchi rentgen pulsari deb ataluvchi fazasi boshlanadi.

Bob – IV. Qo'shaloq sistemadagi neytronli yulduzlar evolyutsiyasi ssenariyasi

§4.1. Ejeksiyalanuvchi pulsarlar

Qo'shaloq yulduzlarda hosil bo'lgan neytron yulduzi boshlang'ich vaqtlarda o'zini yosh yakka radiopulsardek tutadi. U effektiv ravishda kosmik zarralarni tezlashtiradi, bunda past chastotali elektromagnit nurlanishi va kosmik zarralar bosimi muhitni (qo'shni yulduzdan chiqayotgan) sistemadan uzoqqa itaradi va yulduzdan qo'shimcha muhit oqimini hosil qilishi ham mumkin. Vaqt o'tishi bilan xuddi yakka pulsarlar kabi, bunday neytron yulduzini davri sekinlashadi. Buning natijasida yulduz tomonidan nurlanayotgan energiya intensiv kamayib boradi va qo'shni yulduz muhiti asosiy yulduz nurlanishi tomonidan endi effektiv itarishga duch kelmaydi. Sekinlik bilan qo'shni komponentadan kelayotgan gaz qo'shaloq sistemani to'ldiradi va bunday gazning ma'lum zichligidan boshlab pulsarni radionurlanishi yutiladi. Natijada neytron yulduzi radiopulsar sifatida yo'qoladi. Ma'lum qo'shaloq sistemalarda bunday hol neytron yulduzini aylanish davri 0,05-0,1s bo'lganda vujudga keladi. Neytron yulduzini radionurlanishi bo'lmagan holda u zarralarni tezlashtirishga davom etadi, tezlashtirish past chastotali radionurlanishlarning bosimi $R \sim GM/\vartheta_B^2$ (M – neytron yulduz massasi, ϑ_B^2 – qo'shni yulduz shamoli tezligini kvadrati) masofada yulduz shamoli tezligiga teng bo'lguncha davom etadi. Bunday R – masofalarda effektiv ravishda neytron yulduzini gravitatsion tortilish kuchi ta'sir etadi. Baholashlarni ko'rsatishicha bunda pulsar aylanish davrini yana bir tartibda (0,3-1 s gacha) kamaytirish kerak.

Bundan keyin yulduz shamolining bir qismi neytron yulduzi yorug'likli silindriga kiradi va shunday qilib pulsar aktivligini bosadi. Pulsarning ejeksiyalanish fazasi yulduz shamoli parametrlariga, magnit maydoni kattaligiga bog'liq bo'lib, 10^4 - 10^8 yildan keyin tugaydi.

“Propeller” pulsar. Muhit nurlanish silindriga kirgan vaqtning boshida, u neytron yulduzi sirtigacha yeta olmaydi. Chunki muhitga neytron yulduzdan masofaga qarab $H \approx H_0(R_0/R)^3$ qonuniyat bilan o'zgaruvchi magnit maydoni ta'sir qiladi. Neytron yulduzidan ma'lum masofada magnit maydoni energiya zichligi va tushuvchi muhit kinetik energiyasi miqdor jihatdan teng bo'lguncha kirib, keyin muhit tormozlanadi. Maydon yulduz bilan birgalikda aylanadi va (aylanish o'qi va magnit maydon o'qi parallel holida) tushuvchi gazga xuddi propeller singari ta'sir etadi. Markazdan qochma enertsiya kuchi qattiq jismdek aylanishda tormozlanish masofasida avval gravitatsiya kuchidan ancha katta bo'ladi va muhit teskari yo'nalishda tashlanadi. Bunday holda yulduzning aylanish energiyasi va burchak momenti olinadi. Bunday tashqariga tashlanayotgan muhit yulduzga tushayotgan muhit bilan to'qnashib, yulduz yaqinida murakkab vixrli harakat vujudga keladi. Bir xil sektorlar bo'yicha muhit yulduzga tushayotgan bo'lsa, ikkinchi sektor bo'yicha muhit chiqayotgan bo'ladi (bunday harakatlarning hali miqdor nazariyasi yaratilmagan). Neytron yulduzi propeller fazasida aylanishdan sekinlashishga davom etadi. Tushuvchi muhim to'xtash masofasida markazdan qochma kuchlarning ta'siri kamayadi va shunday bir davr keladiki, bu kuch gravitatsiya tortilish kuchidan kamayadi, shundan boshlab muhit magnit maydon kuch chiziqlari bo'ylab neytron yulduz sirtiga tushadi. Neytron yulduzining oxirgi yakuniy fazasi boshlanadi.

Akkretsiyalanuvchi rentgen pulsari. Neytron yulduzi xarakterli parametrlarida (neytron yulduzi orbitasida yulduz shamoli zichligi 10^8 - 10^{10} zarra, bir sm^3 hajmda, tezligi bir necha 100 km bir sekundda, yulduz magnit maydoni 10^{12} Gs) aylanish davri 1-10 s gacha kamayganda rentgen pulsari singari yonadi. Yulduz sirtiga muhitni tushishi zarbali to'lqinlarni hosil bo'lishiga olib keladi va yulduz qutbiy sohalaridagi issiq “dog'larda” gravitatsion energiyani ajralishiga olib

keladi. Bu energiyaning deyarli barchasi rentgen diapozonida nurlanadi. Kuchli magnit maydonida plazmaning issiqlik nurlanishi tez yo'nalishli xarakterga ega bo'lib, yulduz aylanish o'qi va magnit maydon o'qi ustma-ust tushmagan holda neytron yulduzi xuddi radiopulsar singari o'zini kosmik mayak singari tutadi. Nurlanish hosil bo'lishini mexanizmlariga bog'liq ravishda rentgen nurlanishi oqimi yulduzdan tor dasta sifatida magnit kuch chiziqlari bo'ylab (qalamsimon yo'nalishli diagramma) yoki keng veer ko'rinishida magnit kuch chiziqlariga perpendikulyar (pichoqli yoki veerli diagramma) yo'nalishda chiqib ketadi. Har ikkala holat 2 – rasmda ko'rsatilgandir.

Akkreetsiyalanuvchi neytron yulduzi xarakterli parametrlarida (xarakterli parametrlar qiymati yuqorida keltirilgan) uning yorqinligi 10^{36} - 10^{38} erg/s ga yetadi. Akkreetsiya boshlanishi bilan neytron yulduzining aylanish davrini ortishdan to'xtaydi. Davr o'zgarmas saqlanadi yoki akkreetsiyalanuvchi muhit o'zi bilan burchak momenti olib kelsa, aksincha kamaya boshlaydi. Lekin aylanish davrining kamayishi shunga olib keladik, magnit kuch chiziqlari bo'ylab muhit tusha boshlagan oblastda markazdan qochma kuch roli yana oshadi va akkreetsiya yana to'xtashi mumkin (neytron yulduzi yana propeller fazasiga qaytadi, shundan keyin uning davri osha boshlaydi, yana akkreetsiya boshlanadi va hokazolar). Qayd qilish muhimki, yulduz akkreetsiyalanuvchi yulduz sifatida o'zining aylanishini tezlashtiradi. Qo'shaloq sistemalardagi Sentavr X-3 va Gerkules X-1 deb ataluvchi pulsarlarda davrini bir yilda birinchisi uchun 1000 μ s tezlik bilan kamayishi kuzatilsa, ikkinchisi uchun 5 μ s tezlik bilan kamayishi kuzatiladi. Agar bu pulsarlar aylanuvchi neytron yulduzlari bo'lsa, u holda yuqorida qayd etilganlariga ko'ra, tezlikda ularda akkreetsiya to'xtalib, bundan keyin ularning aylanish davri osha boshlashi kerak va ular ko'rinmas fazasi propellerga aylanadi. Bunday fazalarning almashinishi ko'p marotaba takrorlanishi mumkin. Ko'rib chiqilgan modelga ko'ra akkreetsiyalanuvchi pulsarlarni xarakterli vaqti ularni yoshiga bog'liq bo'lmasdan, inertsiyon xususiyatlari bilan aniqlanishi kerak. Shunday qilib neytron yulduzlarining yoshi ularning kamayish davri vaqtidan ancha kattadir.

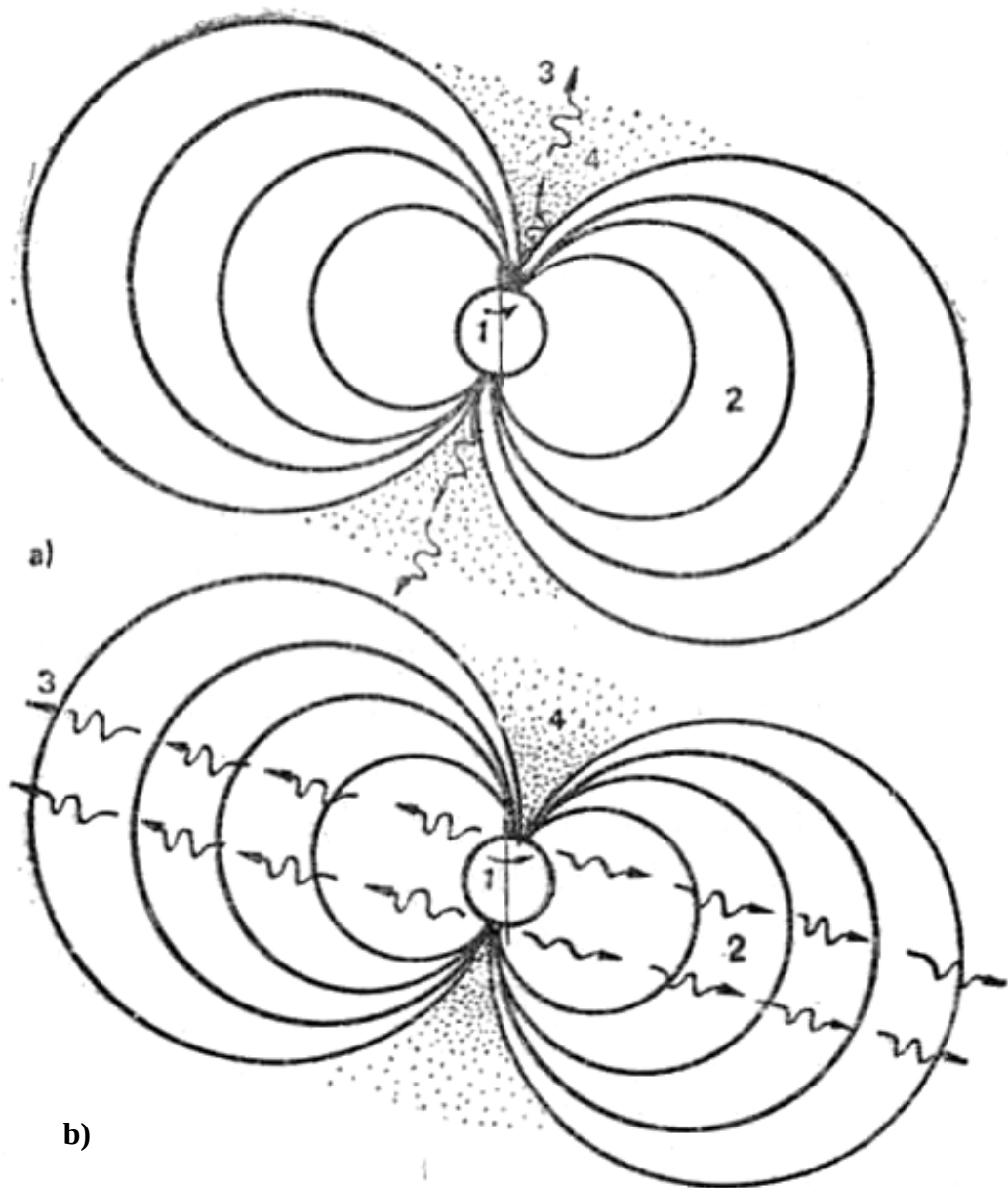


Рис. 2. Нейтронли yulduzga turli diagrammali nurlanish bilan o'tuvchi gazning akkretsiya modeli. a) qalamli diagramma; b) pichoqli diagramma. 1-neytron yulduzi, 2-magnit maydoni chiquvchi nurlanish, 4-tushuvchi gaz.

Agar yulduz shamoli parametrlari boshqacha bo'lsa, neytron yulduzlarining davri qanday qiymatlarga kamayadi? Tushunarli yulduz shamolining zichligi qancha kichik bo'lsa, neytron yulduzi sirtidan shuncha uzoqlikda magnit maydoni tushayotgan muhit oqimini to'xtatadi. Bu holda akkretsiya boshlanishi uchun yulduz aylanishi katta davrlarga sekinlashishi kerak. Hisoblashlarni ko'rsatishicha neytron yulduzi orbitasida yulduz shamoli 100-1000 zarra 1 sm^3 hajmdagi zichligida, yulduz aylanish davrini yuzlab sekundgacha kamayishida akkretsiya boshlanadi. Lekin bunday zichliklarda akkretsiya tezligi kam bo'lib, natijada akkretsiyalanuvchi neytron yulduzi yorqinligi kichik bo'ladi.

Agar neytron yulduzi zichligi kichik bo'lgan yulduz shamolida joylashgan bo'lsa-yu, vaqt-vaqti bilan shamol zichligi oshib tursa (masalan qo'shni yulduz davriy ta'siri ostida), u holda neytron yulduzi xuddi vaqt-vaqti bilan chaqnash beruvchi rentgen manbasidek kuzatiladi. Endi konkret neytron yulduzli qo'shaloq sistemalarni ko'rib chiqamiz.

§4.2. Qo'shaloq radiopulsar va yulduzlarni “tortilishini” yangi metodlari

Dunyoda eng katta bo'lgan parabolik radioteleskop (Amerikada, Aresibo shahrida joylashgan bo'lib, anten nasining diametri 300 metr) yordamida kuzatish olib borayotgan R.Xals va Dj. Teylor 1974 yilda yangi radiopulsarni kashf etdilar. Uni davri doimiy emas edi. Alohida impuls orasidagi oraliqlar davriy ravishda, pulsarni cho'zilgan qo'shaloq sistema orbitasiga muvofiq o'zgarib turar edi. Alohida impuls orasidagi vaqt (pulsar sutkasi) 0,059 s gat eng bo'lib, uni orbita bo'ylab aylanib chiqish vaqti (pulsar yili) 7 soat 45 minutga teng bo'lib chiqdi. Impulslarni kelish chastotasini Doppler siljishini bitta aylanish davridagi egri chizig'i sinusoidadan katta farq qiladi (pulsarni orbitasi aylanadan iborat emasligini ko'rsatadi). Orbitasini eksentrisiteti $e=0,61$ bo'lib chiqdi. Bunday eksentrisitetda qo'shaloq sistema komponentalarini apoastrda bo'lganda orasidagi masofasi periastrdagi bo'lgandagi masofasidan 4 marotaba kattadir. Davrlarni ketma-ket kelishini Doppler siljishidan foydalanib, pulsarni kuzatuvchiga nisbatan

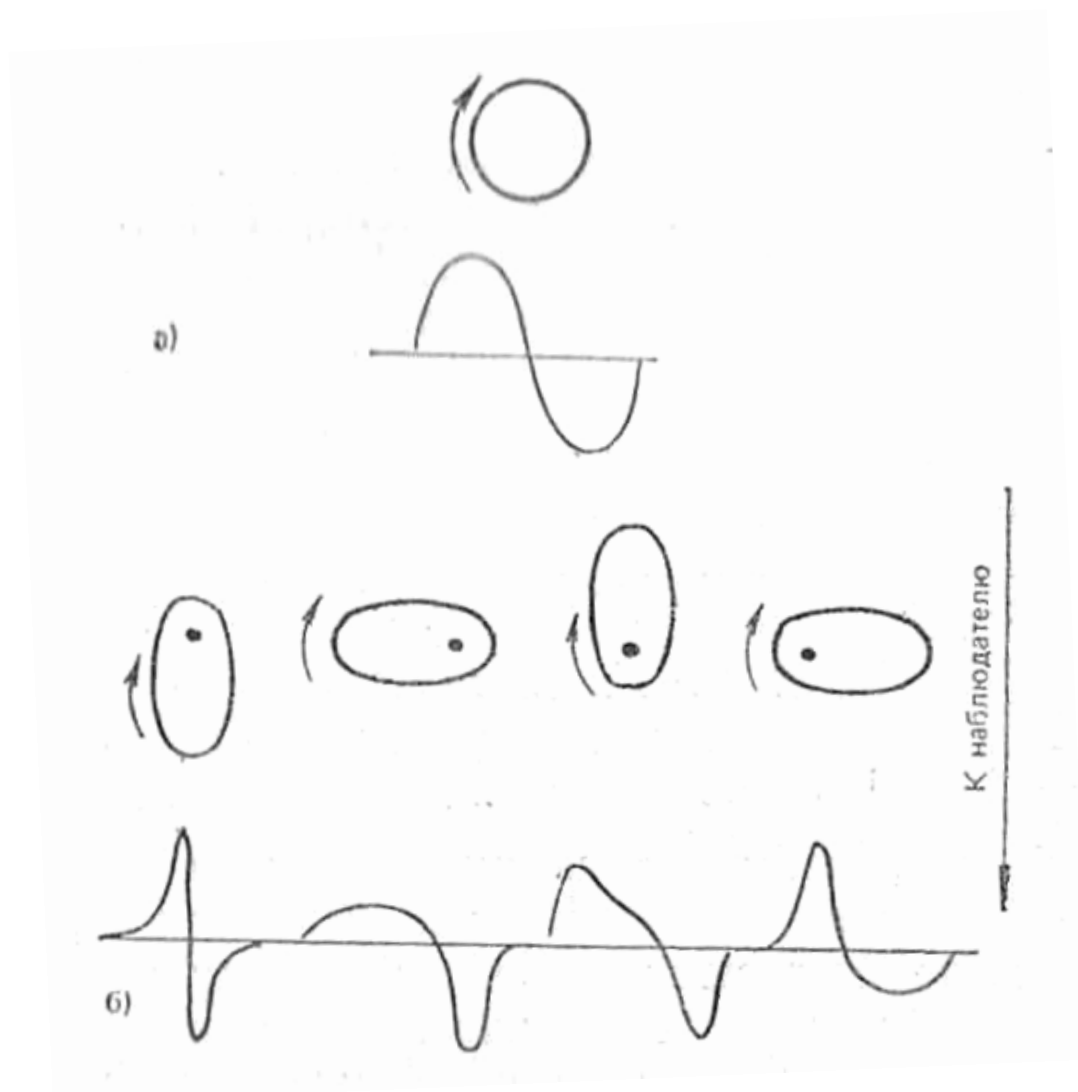
tezligini o'zgaruvchi qismi topilgan edi. Bunda oddiy qo'shaloq yulduzlarning spektrida chiziqlarni Doppler ko'chishini aniqlashdek metoddan foydalanilgan edi. Lekin, chiziqlarni spektrda siljishiga ko'ra aniqlangan nurli tezliklar egri chizig'i va pulsarni impulslar kelish chastotasini siljishiga ko'ra aniqlangan egri chiziqlar orasida farq bor. Spektral chiziqlarni siljishiga ko'ra aniqlashda chiziqlarni spektrda doimiy siljishiga ko'ra qo'shaloq sistemani kuzatuvchiga nisbatan doimiy tezligini aniqlash mumkin. Pulsar haqiqiy davrining haqiqiy qiymati ma'lum emas, shuning uchun qo'shaloq sistemani ilgariylanma harakatini aniqlash mumkin emas. Shu ma'noda o'rtacha davr (0,059 s) sistema tinch turibti deb topilgan. Davrning haqiqiy qiymatidan farqi ϑ/c (ϑ - sistemaning harakat tezligi, c - yorug'lik tezligi) tartibida bo'lganligi uchun $\vartheta = 1000 \text{ km/s}$ bo'lganda ham farq uncha katta bo'lmaydi. Rasm – 3 da nurli tezliklarning ko'rinishi turli orbitalar (a – aylanma shakli, b- eksentrisitetli shakli orbita va kuzatuvchi yo'nalishiga nisbatan).

Orbitaning periastrida pulsar tezligi 330 km/s bo'lib, kuzatuvchi tomon harakat qilayapti, apoastrdagi (yarim davrdan keyin) 75 km/s – ga yaqin tezlik qarama-qarshi tomonga harakat qilayapti. Qo'shaloq sistemani massasi qanday aniqlanadi? Yulduzlarni tortilishi Keplerning 3-chi qonuniga asoslangandir, bu qonunga ko'ra qo'shaloq sistemaga kiruvchi komponentalarini orbitalarini katta yarim o'qlarini kublarini nisbati, ularni orbita bo'ylab aylanish davrlarini kvadratlari nisbatidek bo'ladi

$$\frac{a^3}{P^2} = \frac{G(M_x + M_0)}{4\pi^2}$$

Bunda M_x – pulsar massasi, M_0 – ikkinchi komponenta massasi, G – gravitatsion doimiylik.

Endi qo'shaloq sistemadagi pulsarni ko'rib chiqamiz (aylanma orbita) ni og'irlik markazi atrofida ϑ_x tezlik bilan harakat qilayotgan bo'lsin. Ko'rish nuriga nisbatan i burchakka og'gan sistema uchun impulslari chastotasini Doppler siljishini o'lchab, harakatni faqatgina $A = \vartheta_x \sin i$ nurli tezligini topishimiz mumkin. Keyinchalik A kattalik va qo'shaloq sistema davri P ga ko'ra pulsar orbitasi katta o'qini ko'rish nuridagi proyeksiyasini topishimiz mumkin.



Rasm 3. Qo'shaloq sistemadagi pulsar. a) – aylanma shaklidagi orbita bo'ylab pulsarni harakati va unga mos sinusoidal nurli tezliklar egri chizig'i; b) – pulsarni elliptik orbita bo'yicha harakat sxemasi va unga mos keluvchi nurli tezliklar egri chizig'i, orbita katta o'qini kuzatuvchiga o'tkazilgan yo'nalishiga nisbatan orientatsiyasiga bog'liqligi orbita katta o'qining turli orientatsiyasi uchun ko'rsatilgan.

Sistema komponentalari orbitalarini radiuslarini nisbati ularni massalari nisbatiga teskari proportsional $a_x/a_0=M_0/M_x$ bo'lganligi uchun, komponentalari orasidagi $\alpha = a_0 + a_x$ masofa uchun osongina quyidagi ifodani topamiz

$$Asini=AP(1+M_x/M_0)/2\pi$$

Bunda a - ning qiymatini Keller uchinchi qonuniga qo'yib yangi ifoda o'ng tomoniga kuzatiladigan kattaliklar A va P – ni o'tkazib quyidagini topamiz

$$f(m)=\frac{M_0^3 \sin^3 i}{(M_0 + M_x)^2} = 10^{-7} A^3 P$$

$f(m)$ – ga qo'shaloq sistemani massa funksiyasi deyiladi. Qulaylik uchun nurli tezlik amplitudasi oxirgi tenglikda sekunddagi kilometrlarda ifodalangan bo'lsa, komponentalar massalari quyosh massasi birligida berilgan. Massa funksiyasiga kiruvchi massa va og'ish burchagi kombinatsiyalarini, qo'shaloq sistemani komponentalarini birini kuzatishdan toppish mumkin.

Topilgan formulani osongina eliptik orbitaga uchun aylantirish mumkin

$$f(m)=\frac{M_0^3 \sin^3 i}{(M_0 + M_x)^2} = 10^{-7} A^3 P (1-e^2)^{3/2}$$

Elliptik orbita uchun A kattalik orbitaning ikkita diametral qarama-qarshi nuqtalari uchun hisoblangan nurli tezliklarni yarim summalari orqali topiladi (chunki ular endi aylanma orbitaga nisbatan turlicha bo'ladi). Qo'shaloq sistemada yaqinda aniqlangan radiopulsar uchun $A=(330+75)=202,5 \text{ km/s}$, $P=7 \text{ soat } 45 \text{ minut}=0,31 \text{ sutka}$ $e=0,61$ ga tengdir. Bundan massa funksiyasi quyidagiga teng bo'ladi $f(m)=0,13M_0$ (pulsarni orbitasini katta o'qi $a_x=R_0/sini$ – ga tengdir).

Qo'shaloq sistemani parametrlarini to'la aniqlash, yana sistema ikkinchi komponentasini nurli tezligi amplitudasi va sistema tutiluvchi bo'lganda mumkin (oxirgi sistemani og'ish burchagini topishda kerak). 1974 yilda qo'shaloq radiopulsar natijalarini V. A. Brumberg, Ya. B. Zeldovich, I. D. Novikovlar kuzatib qo'shaloq sistemalarini massalarini va og'ish burchagini toppish yangi metodini ilgari surdilar. Bu metod qo'shaloq sistemada pulsarni harakatida hosil bo'luvchi relyativistik effektlarini o'lchashga asoslangan. Bunday effektlarni hisobga olish komponentalarini massalari to'g'risida ikkita qo'shimcha

munosabatni beradi va sistemani parametrlarini hatto ikkinchi komponentani harakati to'g'risidagi ma'lumotlar bo'lmaganda ham aniqlash mumkin. Bunday effektlardan biri ma'lumdir. Pulsar harakatiga relyativistik kuzatmalarni hisobga olinishi orbitani katta yarim o'qini fazoda sekin burilishiga olib keladi (aspid chizig'ini harakati). Bu effect quyosh sistemasidagi merkuriy harakati uchun allaqachon ma'lum bo'lib, u yuz yilda 40^{11} – ni tashkil etadi.

Zich qo'shaloq sistemalar uchun effect kattaligi yetarlicha katta. Aspid chizig'ini harakati uchun nisbiylik nazariyasi quyidagi formulani beradi.

$$\delta \approx 0,2^0 (M_x + M_0)^{2/3} / P^{5/3} (1 - e^2)$$

Bu formuladan ko'rinib turibdiki, e va P ning qiymati ma'lum bo'lganda qo'shaloq sistema komponentalarini massalarini topishimiz mumkin. Qo'shaloq pulsarni yana kuzatilishi uning aspid chizig'ini burilish burchagi bir yilda taxminan 4^0 ekanligini ko'rsatdi. Bunday sistemaning massasi $M_x + M_0 \approx 3M_0$ ekanligi kelib chiqadi. Shunday qilib $f(m)$ massa funksiyasidan sistemani to'la massasi ma'lum bo'lganda, a'lohida komponentalarni massalarini toppish mumkin (i sistemaning og'ish burchagiga bog'liq ravishda). Agar pulsar chastotasi siljishi ikkinchi tartibli effektlarini hisobga olsak (gravitatsion qizil tomonga diljishi va kvadratik Dopler effekti) $f(m)$ massa funksiyasida massalar orasida qo'shimcha munosabatlarni toppish mumkin. Sistema massa funksiyasi tog'risidagi formulalarni chiqorishda odatdagi chiziqli v/c tartibga ega bo'lgan Dopler effektidan foydalaniladi. Relyativistik kvadratik Dopler effektlar $(v/c)^2$ – ga proporsional bo'lib, chiziqliga nisbatan ancha kichikdir. Shuning uchun odatdagi qo'shaloq sistemalarda, o'lchash aniqligi uncha katta bo'lmaganligi sababli, bunday effektlarni hisobga olish mumkin emas. Shu bilan birga eksentrik orbitadagi pulsar uchun impulslarni kelishi ketma-ketlikgi bilan chiziqli Dopler effekti natijasida pulsar periastrdan o'tayotganda relyativistik effektlar tufayli impulslarni qo'shimcha kechikishi kuzatiladi. Bu nuqtada qo'shni yulduzni gravitatsion maydoni kuchli, shuning uchun pulsar eng katta orbital tezlikka ega bo'ladi. Natijada kechikishiga gravitatsion qizil siljish va kvadratik Dopler effekti ulushi maksimaldir.

Lekin ko'rib chiqilayotgan relyativistik effect birinchi tartibli effect bilan qo'shiladi (o'zining ta'siriga ko'ra) aspid chizig'ini burilishini bilmasdan ularni ajratish mumkin emas. Nurli tezliklar chizig'I sifat jihatidan ikkinchi darajali effektlarni hisobga olganda ham, hisobga olinmaganda ham birxildir. Kvadratik effektlarni hisobga olganda nurli tezliklar chizig'ini formasi biroz farq qiladi. Bunday farq sistema orbitasini ikkita holatini hozirgisini va orbitani 180° ga burgandagisini solishtirganda katta bo'ladi. Relyativistik tuzatmalarni hisobga olmaganda orbitani ikkita diametral qarama-qarshi nuqtalaridagi nurli tezliklarni maksimal qiymatini farqi B bir xil bo'ladi. Lekin kvadrat effektlarni hisobga olganda ular bitta holatda chiziqli Dopler effect bilan qo'shiladi, boshqasida undan ayriladi, B turlicha bo'ladi. Komponentalarni massasi va boshqa kuzatiluvchi kattaliklarga ko'ra relyativistik hisoblashlar B uchun quyidagi ifodani beradi

$$B(km/c) \approx 0,01eM_0(2M_0 + M_x)/P^4\delta^2(1-e^2)^3$$

Endi biz uchta noma'lum M_x , M_0 , va I lar uchun uchta tenglamaga ega bo'ldik. Shuning uchun oddiygina ulardan parametrlarni topishimiz mumkin. Albatta pulsar orbitasi 180° burilishi 45 yilda vujudga kelishini kutish shart emas. Aspid chizig'ini burilishi bilan maksimal nurli tezliklarning farqi o'zgaradi. Amalda relyativistik effektlar tufayli hosil bo'luvchi bu farqni effektni kichikligi tufayli murakkabdir.

§4.3. Rentgen manbalarini umumiy xarakteristikalari

Yerning suniy yo'ldoshida o'rnatilgan rentgen teleskopi yordamida 1-10 kev energiya intervalida osmonni seyarli barcha joylari tekshirilgan. Rentgen nurlanishini 160 dan ortiq diskret manbalari borligi aniqlangan. 40 dan ziyod manba tashqi galaktikalarda yoki galaktikalar to'dalarida joylashganligi aniqlangan. Yarmidan ko'p manbalar bizning galaktikamizda joylashgan bo'lib, ularning konsentratsiyasi galaktika tekisligi tomon oshib borib, ularning yorqinligi ham oshib boradi. Galaktik manbalarining o'nga yaqinlari o'ta yangi portlashlar qoldiqlari bo'lib, koinotda bir necha gradusli oblastni egallaydi. Ularda

yulduzlararo million gradusgacha isigan gaz nurlaydi, bunday gazlar bulutlari o'ta yangi portlash natijasida hosil bo'lgan. O'ta yangi portlash qoldiqlari yana radio va optik diapozonda nurlab, rentgen nurlanishi oblastida uning torqinligi yanada katta. Telets va Parus turkumidagi yana ikkita manba yosh radiopulsardir. Ular shu darajada energiyaliki, nafaqat radio va optik diapozonda balki rentgen oblastida ham nurlaydi. Boshqa galaktik manbalar qo'shaloq sistemadagi relyativistik muhit akkretsiyasi tufayli nurlaydigan yulduzlar bo'lishi mumkin. Ulardan o'nga yaqin optik yulduzlar bilan otojdestvlyat qilingan bo'lib, ularda rentgen tutilishlari kuzatilib, ularning xususiyatlari yuqorida qarab chiqilgan yulduzlar kabi bo'lishi mumkin.

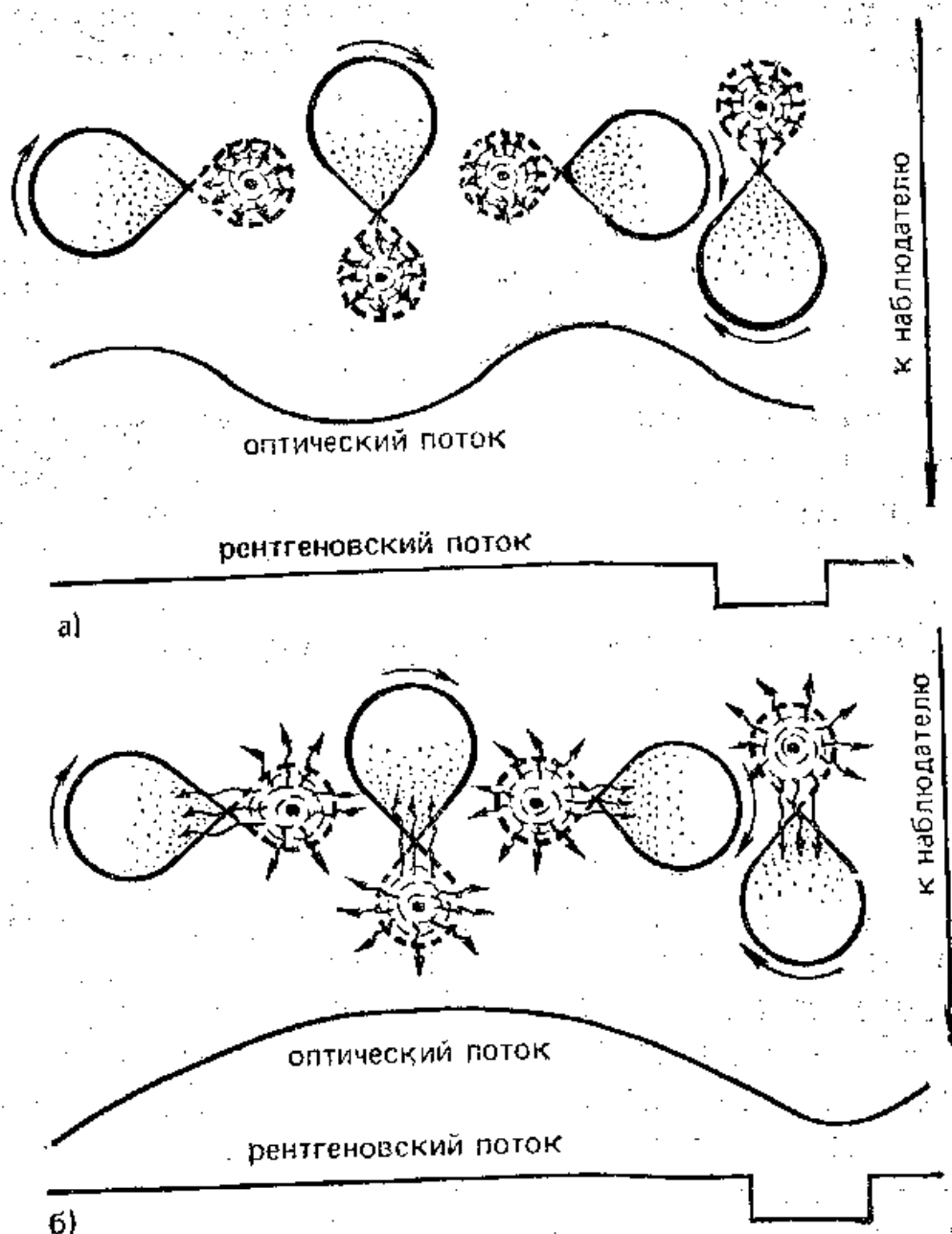
Rentgen manbalari joylashgan yulduzlar xarakterli masofasi birnecha kiloparsekga (eng kichigi 500 Pc dan yaqin) teng bo'lishi mumkin. Bundan ularning galaktikadagi soni kichik ekanligi kelib chiqadi. Bunday kartina normal yulduzlarda kuzatiladigan kartinadan radikal farq qiladi. Bizga yaqin joylashgan yulduzlar bir necha parsek bo'lgan masofada joylashgan bo'lib, 100 Pc radiusli hajmda allaqachon minglab yulduzlar joylashgan. Galaktikaning nisbatan uzoq yulduzlarni yorug'ligi somon yo'li polosasiga oqadi.

Optik diapozonda kuzatilishi rentgen sistemalarini yorqinligini ikkita muhim xususiyatini aniqladi. Bitta sistemasini optik o'zgaruvchanligi, optik ko'rinuvchi komponentasini ellipsoidal ekanligi bilan tushuntiriladi, ikkinchisiniki esa nurni qaytarish effekti (normal yulduzi atmosferasida rentgen nurlanishi oqimini optik nurlanishga spetsifik qayta ishlashi) bilan tushuntiriladi. Zich qo'shaloq sistemalarda komponentalarni prilivli ta'sirida katta optik yulduzni formasi o'zgargan bo'ladi, yulduz har ikki komponenta og'irlik markazini tutashtiruvchi chiziq yo'nalishi bo'yicha cho'zilgan bo'lib, nok shaklini eslatadi. Bu effect yerdagi dengiz priliv va otlivlariga o'xshaydi, lekin oxirgi holatda qo'z g'atuvchi jismlar (quyosh va oy) gacha masofa katta bo'lganligi sababli (yer radiusida katta) effect uncha katta emas. Zich qo'shaloq sistemada komponentalar orasidagi masofa yulduz radiusidan 2-3 marotaba katta bo'lganida, prilivli kuchlar bir tomondan cho'zsa boshqa yo'nalishda qisadi. Natijada yulduz yuzi undan qaysi

tomondan kuzatilayotganiga bog'liq bo'ladi. Kuzatuvchini ko'rish nuri chizig'i komponentalarni og'irlik markazini tutashtiruvchi chiziqqa parallel bo'lganda, yulduzning ko'rinma o'lchami biroz kichik bo'lib, to'rtidan bir aylanishdan keyin biroz katta bo'ladi. Tushunarliki bu holda yorqinlik o'zgarish davrini o'zgarishlari sistemani aylanish to'la davridan ikki marotaba kichik bo'ladi. Agar ko'rish nuri orbita tekisligi bilan kichik burchak hosil qilgan bo'lsa, bunday sistemada rentgen komponentasini optik yulduz tomonidan regulyar tutilishi yuz beradi. Bunda manba optik yulduz orqasida joylashgan bo'ladi (rasm 4a).

Kuzatuvchi sistema tekisligida joylashganda optik yorqinlik amplitudasi va rentgen tutilishi uzunligi maksimal bo'ladi. Tutilish uzunligi va yorqinlik amplitudasi sistemani parametrlarini hisoblashda foydalaniladi: optik yulduzni nisbiy o'lchamlari, komponentalar, massalar nisbati va hokazolar. Optik yulduz yorqinligi rentgen manbasi yorqinligidan katta bo'lganda, ellipsoidallik effekti muhim bo'ladi. Aks holda (normal yulduzni optik yorqinligi kichik) yorug'likni qaytarish effekti muhim bo'ladi. Optik yulduz tomon tushayotgan rentgen fotonlari yutiladi, keyinchalik spektrni optik va ultrabinafsha oblastida nurlanadi. Agar rentgen nurlanishi oqimi optik yulduz ichidan chiqayotgan energiya oqimidan oshsa, yulduzni rentgen nurlanishini optik diapozonda qayta nurlayotgan tomoni temperaturasi oshishi lozim va shuning uchun yorqinligi oshadi. Natijada bunday birjinslimas yoritilgan yulduz aylanishida sistema yarqirashi regulyar ravishda o'zgarib turadi.

Rentgen nurlanishi manbasi kuzatuvchi va yulduz orasida bo'lganda yarqirash maksimal bo'lib, yarim aylanishdan qachon optik egri chizig'ida bitta maksimum va bitta minimum bilan qaytish effekti katta bo'ladi. Har ikki holda rentgen oqimi tutilish momentida o'chadi. Keyin rentgen manbasi o'chirilgan bo'lganida minimal bo'ladi. (Rasm 4b).



Rasm – 4. Qo'shaloq sistemasini bir marotiba aylanishda optik va rentgen oqimlari kuzatiluvchi kattaliklarini o'zgarish sxemasi. a) normal yulduzini optic yarqirashi relyativistik obyekt rentgen nurlanishi yarqirashidan katta. Optik sistemani ellipsoidal effekti kuzatiladi, Bunda bir marotiba aylanish davomida optik yorqinlik chizig'ini ikki marotiba maksimumi va ikki marotiba minimumi kuzatiladi. b) rentgen va optik yorqinliklarni teskari munosabatlari.

Bunday effektni borligi 1967 yilda I. Y. Shklovskiy tomonidan ko'rsatilgan bolib, hisoblashlarni ko'rsatishicha optik yulduzni yuzi unga tushuvchi barcha rentgen nurlanishini yutmaydi, sirtini xususiyatlariga ko'ra yutilgan rentgen nurlanishi miqdori 30% ni tashkil etadi. Optik yulduzni sirtini isitilishi undan muhit chiqishi yulduz shamolini kuchaytirishi mumkin.

Har ikki bayon etilgan effektlar bir qator rentgen sistemalarida kuzatildi. Ko'ramizki, qo'shaloq sistemalaridagi klassik optik tutilishi effekti bu yerda deyarli yo'q, rentgen diapozonidagi tutilish esa mavjuddir. Kompakt manbaning optik nurlanishini yo'qligi, yuqoridagi effektlarni topshirishda ideal sharoit yaratadi.

Qayd qilish kerakki, haligacha a'lohida qo'shaloq sistemalarida kuzatiladigan hodisalar oxirigacha tushuntirilmagan.

§4.4. Gerkules X-1 ning “episikl” va “deferentlari”

Gerkules X-1 va Tsengavr X-3 larning rentgen nurlanishini ko'rib chiqamiz. Bu obyektlar regulyar davriylikka ega. Birinchisidan impulslar har 1,24 c – dan kelsa (rasm 5), ikkinchisidan har 4,8 c – dan keyin keladi. “Uxuru” sun'iy yo'ldoshi yordamida olib borilgan izlanishlarni ko'rsatilishicha impulslar orasidagi vaqt bu obyektlar uchun aniq doimiy bo'lmasdan mos ravishda ~1,7 sutka va ~2,1 sutka davr bilan sinusoidal qonun bo'yicha o'zgaradi. Bundan tashqari regulyar ravishda bu obyektlarni birinchisi uchun 6 soatga ikkinchisi uchun 12 soatga o'girilishi vujudga keladi. Ularning bu xususiyatlaridan ular qo'shaloq sistemaga kirishi kelib chiqadi. Impulslar davrining sinusoidal ravishda o'zgarishi manbaning qo'shaloq sistema orbitasi bo'ylab harakati natijasida chastotaning Dopler siljishiga bog'liq bo'lsa, o'girilishi qo'shni yulduz tomonidan tutilishi natijasida vujudga keladi. Vaqt o'tishi bilan sistema optik komponentalari shakllantirilgan edi; Gerkules X-1 uchun birdaniga Tsentavr X-3 uchun ikki yildan keyin. Gerkules X-1 manbasining koordinatalari e'lon qilingandan keyin o'sha joyda Gerkulesni HZ o'zgaruvchi yulduzi kuzatildi. U bilan manbaning shakllantirishi birdaniga bir

nechta dunyo observatoriyalarida kuzatildi. HZ Gerkulesni 1907 yildan boshlab kuzatgan xodimi Y. Kurochkin bu manba optik yulduz va rentgen pulsari qo'shaloq ekanligini aniqladi. Bunda yulduzning optik minimumlari vaqt momentlari, rentgen tutilishi vaqt momentlariga mos kelishi aniqlandi. Yorqinlik egri chizig'ini analizidan optik yulduzning rentgen manbaiga qaratilgan tomonlarini yorqinligi taxminan 3 marta yuqori ekanligi aniqlandi, bundan bunday yuzaning temperaturasi qarama-qarshi tomondagisiga ko'ra yuqori ekanligi kelib chiqadi. Optik yarqirashning o'zgarishiga asosiy ulushni optik yulduzni atmosferasida rentgen nurlanishini qaytarilishi o'ynaydi. Bu effektini mexanizmi yuqorida tushuntirilgan edi. Rentgen astronomiyasining metodlari manbalarning osmon sferasidagi koordinatalarini ma'lum aniqlik bilan aniqlash imkonini beradi. Odatda tomonlarini "xatosi kvadrati" bir necha burchak minutlarida beriladiki, manba 90 %lik qiymatdorlik bilan o'sha yuzada joylashgan bo'ladi. Tsentavr "xatosi kvadrati" da yuzlab optik yulduzlar joylashgan bo'lib chiqdi. Ulardan birini shakllantirish uchun rentgen manbasi davri bilan regulyar o'zgaruvchisi axtarildi. Avvaliga shunday o'zgaruvchi yulduz topildiki, uning yorqinligi o'zgarish davri, manbaning kuzatiluvchi davridan bir necha protsentga farq qiladi. 1973 yili Polshalik astronom V. Ksheminskiy aniqladiki, taxminan 13^m kattalikli yulduz "xato kvadratiga" joylashmagan bo'lsa ham rentgen manbasi davridan aniq ikki marotaba kichik bo'lgan yorqinligi o'zgarish davriga ega. Yulduz yarqirashi amplitudasi taxminan optik oqim kattaligini 7-10 % ini tashkil etib, yarqirash chizig'ini minimumlaridan biri manbaning rentgen tutilishiga aniq mos keladi. Bunday tebranishlarni yulduz ellipsoidalligi effekti natijasida tushuntirsak, yulduzni shakllantirish masalasi yechilgan hisoblash mumkin. O'sha vaqtdan boshlab obyekt Ksheminskiy yulduzi deb ataladi.

Shunday qilib ikki rentgen pulsarlarining optik namoyon bo'lishi yuqorida bayon etilgan ikkita effect tufayli hosil bo'ladi. Gerkules X-1 ning rentgen yorqinligi gerkules HZ yulduzining optik yorqinligidan 100 marotaba katta bo'lib, bunda yorug'likni qaytarish effekti asosiy rol o'ynayotganligi kelib chiqadi. Shu bilan birga Ksheminskiy yulduzining optik yorqinligi (bu yulduz massiv issiq o'ta

gigant yulduzi bo'lib chiqdi). Kentavr X-3 rentgen oqimidan katta bo'lib, bu sistemani optik diapozondagi ko'rinishi ellipsoidallik effekti tufayli vujudga kelgan.

Bu ikki pulsarni optik va rentgen diapozonda kuzatilishi qo'shaloq sistemalarni parametrlari to'g'risida juda ko'p ma'lumotlar berdi. Pulsarlarni chastotasini Dopler siljishi ularni massalar markazi atrofida aylanishi tezligini toppish imkonini berdi.

Gerkules X-1 uchun 169 km/c va Tsentavr X-3 uchun 415 km/c bo'lib chiqdi. Bundan katta aniqlik bilan massa funksiyasi

$$f(m) = M_0^3 \sin^3 i / (M_0 + M_x)^2$$

topiladi, bu pulsarlar uchun mos ravishda $0,85 M_0$ va $15,4 M_0$ bo'lib chiqdi. Ko'rinadiki optik yulduz spektrida chiziqlarni siljishiga ko'ra aniqlanadigan massa funksiyasi ifodasidan farqli bu yerda maxrajda rentgen manbasi massasi turmasdan yulduzlar massalari yig'indisi turadi. Rentgen va optik natijalaridan sistemaning quyidagi parametrlari aniqlangan edi. Gerkules X-1. Ikki komponentasini og'irlik markazlari orasidagi masofa taxminan $7R_0$ ga teng, optik yulduzning radiusi bundan hammasi bo'lib 2 marotaba kichikdir. Optik yulduz massasi $1,7-2 M_0$ ga teng bo'lgan gigant bo'lib rentgen nurlanishi bilan yoritilmagan tomoni temperaturasi $6000^\circ-7000^\circ \text{ K}$ bo'lib boshqa tomoni temperaturasiga ko'ra 2 marotaba pastdir. Rentgen pulsarining massasi $1 M_0$ tartibida bo'lib, orbita tekisligi deyarli ko'rish nuriga to'g'ri keladi.

Tsentavr X-3 komponentalar og'irlik markazi orasidagi masofa $20 R_0$ ga yaqindir. Optik yulduz massasi $20 M_0$ tartibida radiusi $15 R_0$ yaqin bo'lgan o'ta gigant yulduzidan iboratdir. Rentgen pulsarining massasi $1 M_0$ tartibidadir. Bu sistemani xuddi Gerkules X-1 singari biz deyarli yon tomondan kuzatamiz.

Qo'shaloq rentgen pulsarlari xuddi tez aylanuvchi neytron yulduzi kabi tasavvur etilib, bunday yulduzlar kuchli magnit maydoniga egaligi sababli qo'shni yulduzni unga akkretsiyasi vujudga keladi. Bu pulsarlar monoton bo'lmasa ham, sekinlik bilan aylanish davrini kamaytiradi ya'ni ular tezlanishli aylanma harakat qiladi. Gerkules X-1 bir yilda 5 ms tezlanishli davr bilan, Tsentavr X-3 bir yilda

100 ms tezlanishli davr bilan aylanadi. Ana shunda ularning oddiy asta sekinlik bilan sustlanuvchi yakka radiopulsarlardan farq qilib chiqadi.

Bizningcha anashu ikkita rentgen pulsarida akkretsiya rejimini turli namoyon bo'lishlariga duch kelamiz. Gerkules X-1 (HZ Gerkules) sistemasi bizning galaktikamizni eng qari obyektlar guruhiga kirib, eng ko'p yashaydigan bo'lsa kerak. Optik komponenta ehtimol qachondir yulduzlar asosiy ketma-ketligida joylashgan. Undan muhitni kam akkretsiyasi vujudga keladigan yulduz bo'lsa kerak. Bu vaqtda ikkinchi komponenta (neytron yulduzi o'zining ejeksiyalanuvchi fazasida bo'lgan bo'lishi mumkin bo'lib, uning radionurlanishi unga kuchli bo'lmagan yulduz shamolida ham kam yutilayotgan bo'lishi mumkin. Xuddi anahsunday sistemalar galaktikamizda ko'p bo'lishi mumkin. Lekin Gerkules X-1 holida biz yulduz hayotida uncha ko'p vaqtni olmaydigan evolyutsiyalanuvchi obyektini asosiy ketma-ketlikdan chiqib, qizil gigant holiga o'tish davrini ko'ramiz. Uning qa'rida yadro energiyasining yangi manbalarini qo'shilishi va buning natijasida yulduz kengayib uning radiusini oshishini kalamiz. Rosh bo'shlig'i to'ldirilgandan keyin, muhitni intensive ravishda neytron yulduzini gravitatsion tortish maydoniga oqib o'tishi vujudga keladi va neytron yulduzi atrofida gazli disk hosil bo'ladi. Natijada keyingi disk muhitini neytron yulduzi magnit maydoni bilan ta'siri neytron yulduzi burilishini sekinlashtirilib, yulduz propeller fazasiga o'tadi va unga muhit akkretsiyasi boshlanadi. Buning natijasida neytron yulduzi eng yorqin rentgen yulduzlarining biriga aylanadi.

Tsentavr X-3 holida situatsiya boshqacha. Kshevinskiy yulduziga o'xshagan optik o'ta gigant yulduzlarining yashash vaqti davomiyligi hammasi bo'lib bir necha million yilga tengdir. O'zining hayoti davomida nurlanish bosimi ta'siri ostida o'zining sirtidan bir yilda $10^{-5} M_0$ massasini yo'qotadi (undan chiquvchi muhit tezligi bir sekunda yuzlab kilometrni tashkil qiladi). Shuning uchun hosil bo'luvchi neytron yulduzi hamma vaqt yulduz shamoli ichida qoladi. U tezlik bilan o'zining ikkita fazasidan o'tadi va hozirgi vaqtda akkretsiyalanuvchi manbadir: akkretsiya zarbali to'lqinlar orqali amalga oshadi. Tsentavr X-3 da muhitning radial tezligi komponentalarni orbita bo'ylab harakat tezligidan katta bo'lishi

mumkin. Shuning uchun bu muhitni burchak momenti yulduz atrofida gazli disk hosil bo'lishiga yetmaydi. Lekin zarbali to'lqinlardan tushuvchi muhit ortiqcha burchak momentiga ega bo'lib, neytron yulduzi orqasidagi zarbali to'lqin qo'shaloq sistema bilan birgalikda burilishi mumkin. Bunda muhit bilan keluvchi burchak momentini qiymati muhit tushish joyigacha bo'lgan masofani bunday masofada neytron yulduzini qattiq jismdek aylanish tezligi ko'paytmasiga teng. Nazariy hisoblashlarni ko'rsatishicha olib kelinayotgan anashu burchak momenti pulsar X-3 davrini oshishiga yetarli bo'ladi.

Qo'shaloq sistemalardagi neytron yulduzlarning tezlanish bilan aylanishi ko'rsatadiki vaqt o'tishi bilan magnit maydon ta'sir etish zonasida markazdan qochma kuchlarni rolini oshishini ko'rsatadi. Natijada qutblar oblastida kuchli muhit oqimi hosil bo'ladi. Bu vaqtda bunday yulduzda akkretsiya to'xtashi va yulduz rentgen manbasi sifatida o'chishi kerak. Teskari akkretsiya hosil bo'lishi uchun aylanish yana sekinlashishi kerak. Bunga bog'liq ravishda Gerkules HZ ni Garvard (AQSH) va FRG da Zonnenberg abservatoriyalarida aniqlangan xususiyatlari o'ziga jalb etadi. Sistemaning yarqirashi bir necha yil davomida butunlay boshqacha bo'lib va yorug'likning qaytarish effektiga mos kelmaydi, bitta aylanish davri davomida yarqirash ikkita maksimum va ikkita minimumga egadir. Bu vaqt davomida optik yulduz umuman rentgen nurlanishi bilan yoritilmagan. Yarqirashni o'zgaruvchanligi amplituda bo'yicha $0,3^m$ dan oshmay optik yulduzni ellipsoidalligi bilan yoki yulduzni relyativistik obyekt atrofida hosil bo'lgan muhit bilan tushunrilishi mumkin. Bu vaqt momentida neytron yulduzi propeller fazasida bo'lgan bo'lishi mumkin. Hozirgi vaqtda rentgen pulsarlarda kuzatiladigan hamma effektlarga ham rozabrit qilmagan, masalan Gerkules X-1 sutka davr bilan yana bitta aktiv siklga ega va uning rentgen nurlanishi bu siklni 12 soati davomida kuzatiladi (qolgan vaqt davomida yulduz qayd qiluvchi asbob porogidan pastda turadi). Manbaning yoqilishi hamma vaqt qo'shaloq sistemani orbitasini ma'lum nuqtasida og'irlik markazlarini tutashtiruvchi chiziq ko'rish nuriga perpendikulyar bo'lganida vujudga keladi. Manbaning yorqinligi sistemaning yarim burilish vaqti davomida o'zining maksimal qiymatigacha

oshadi, keyin bir necha kun davomida taxminan o'zgaras sathda qoladi (Bundan keyin sekinlik bilan tushadi). Eng qizig'i shundan iboratki, qaytarish effekti deyarli bir xil kuch bilan Gerkules X-1 dan rentgen oqimini eng katta momentlarida va 35 - sutkali siklning minimum momentlarida kuzatiladi. Bu shuni ko'rsatadiki, manbaning hech qanday o'girilishi hosilbo'lmaydi, aks holda qaytarish effekti bo'lmas edi. Bunday effektni tushuntirish uchun bir necha urinishlar bo'lgan edi. Avvali effekt neytron yulduzlarining protsessiyasi tufayli hosil bo'ladi deb o'yladilar, uning nurlanishi juda anizotropdir va yerdagi kuzatuvchi ma'lum orientatsiyada pulsarni yo'nalishli diagrammasiga tushmaydi. Shu vaqtda optik yulduz nebosvodda rentgen komponentasi katta jismoniy burchagini egallab rentgen manbai hamma vaqt yulduzni nurlaydi. Neytron yulduzini kichik o'lchami tufayli qo'shni komponenta gravitatsion maydonidagi majburiy protsessiyasi juda sekin o'tadi. AQSH lik astrofizik K. Breger va rus olimi I. D. Novikovlar bunday neytron yulduzining protsessiyasini analiz qildilar. Bunda faraz qildilarki, kuchli magnit maydoni ($10^{15} - 10^{18}$ Gs) bilan difermatsiyalanuvchi neytron yulduzining asosiy enertsia momenti, aylanish burchak momentini yo'nalishiga mos kelmaydi.

Lekin 35 – sutkali sikl protsessiya tufayli hosil bo'lmagan bo'lishi mumkin. I. S. Shklovskiy aniqlanishicha, ikkita ketma-ket joylashgan sikl zerkal qaytgan bo'lishi kerak, agar birinchisiga rentgen oqimi tez oshib va sekin kamaysa, keyingi siklda neytron yulduzining o'qi teskari yo'nalishida protsessiyalanganda, rentgen oqimi sekin oshib, tezlik bilan o'chishi kerak. Lekin bu kuzatilmaydi, har qaysi keyingi sikl oldingisiga o'xshash bo'ladi. bunday sikl optik yulduzdan oqayotgan muhit miqdorini regulyar o'zgarishi natijasiga bog'liq bo'lishi ham mumkin. Qattiq nurlanishi bu muhit ko'p bo'lganda, muhit tomonidan yutilayotgan bo'lishi mumkin. Rus olimlari G. S. Bisnovago – Kogona va B. V. Komborg 35 – sutkali siklni nurlanish yo'nalishli diagrammasini kengayishi bilan tushuntirmoqchi bo'ldilar, bu o'z navbatida optik yulduz yuzidan gazning chiqishi tezligini o'zgaruvchanligi bilan modulyatsiyalanadi (va xuddi o'zgaruvchan protsessiya natijasidek).

Lekin hech bir gipoteza 35 – sutkali sikl tabiatini tushuntira olmaydi va u muammoligicha qolgan. Bu gerkules X-1 ni birgina muammosi emas, yana tushuntrilmagan hodisa sifatida bu pulsar davrini monoton bo'lmagan kamayishini tushuntirishni aytish mumkin. O'rtacha tezlanishli fonida uncha katta bo'lmagan deyarli sinudoidal chetlanishi mavjuddir. Pulsar bir ozgina tezroq, bir ozgina sustroq tezlashadi va bunday tezlanishini davri 9 oyga teng bo'ladi. Bunday hodisani tushunish mumkin agar Gerkules X-1 (Gerkules HZ) atrofida 1 a. b masofada massasi Yupiter massasiga yaqin bo'lgan sayyora aylanadi deb olsak, lekin bu hali Gerkules X-1 ning to'la “diferent” va “episikl” lari nabori faqatgina kuchli gipotezalari bo'lib, bu muammo haligacha o'z kellerini kutadi.

Gerkules X-1 bizning galaktikaning sferik, simmetrik obyektlari guruhiga kiradi. U galaktik tekislikka nisbatan 37° burchakda kuzatiladi va shunday qilib u 4-6 *kps* masofada bo'lganida galaktika tekisligidan 2-3 *kps* balandlikda bo'lishi kerak. Lekin HZ Gerkules optik yulduzini $2 M_0$ massaga ega bo'lishida bunday sistema galaktika sferik tashkil etuvchisini tipik a'zosi bo'la olmaydi. Galaktikani bunday qismini odatda kichik massali $>1 M_0$ obyektlar to'ldiradi. Barcha nisbatan og'ir obyektlar allaqachon evolyutsiyalangan bo'lib, u yerda yangilari tug'ilmaydi, chunki buning uchun sferik tashkil etuvchilarida gaz mavjud amas. Bumday gaz galaktika diskida yetarlidir. Qanday qilib bunday sistema buncha yuqoriga ko'tarilgan? Bunday gaz portlash natijasida, neytron yulduz hosil bo'lishida yuqoriga tshlangan bo'lishi mumkin. Portlash vaqtida sistema nafaqat katta tezlik oladi, balki orbitasining katta eksentrisitetiga ega bo'ladi. Lekin Gerkules X-1 ning orbitasi aniq aylanadan iboratdir. Eksentrisitet qo'shaloq sistemaga prilivnoy energiyasi dissipatsiyasi tufayli kamaygan bo'lishi mumkin. Gerkules X-1 qo'shni shar sistemasidan tashlangan bo'lishi mumkin? Buning uchun sistema portlash vaqtida 10-20 *km/s* tezlik olishi kerak, u holda u to'daning chegarasini tashlab chiqib eksentrisiteti uncha katta bo'lmasligi kerak. Hozirgi vaqtda allaqachon to'rtta rentgen manbalari sharli to'dalar tomonidan ochilgan bo'lib, ular o'sha joylarda bo'lishi mumkin. Hali kuzatuvchilar va nazariyachilardan bunday obyektlarni xususiyatlarini tushuntirishda juda ko'p kuch talab etiladi.

X U L O S A L A R

Ishda olingan natijalarni quyidagicha bayon qilish mumkin:

1. Pulsarlar, magnit maydoni o'qi uning aylanishi o'qiga mos kelmaydigan kuchli magnit maydoniga (10^{11} - 10^{12} Gs) ega bo'lgan aylanuvchi neytron yulduzidan iboratdir.
2. Aylanish momentini saqlanish qonuni ko'rsatishicha, markazdan qochma inertsia kuchlari neytron yulduzini bo'laklarga bo'lib yubormasligi uchun (nihoyat darajada katta gravitatsiya kuchlari ta'sir qilayotgan paytda) ular kompakt obyekt (radiusi bir necha 10 kmga teng) bo'lishi kerak.
3. Pulsarlarning yuzida yoki magnitosferasida kichik yo'nalishli diagrammaga ega bo'lgan (ya'ni kichik konusli) elektromagnit nurlanish sohalari mavjud bo'lib, neytronli yulduz aylanganligi sababli bu konus uzoqdagi kuzatuvchini kesganda nurlanish qayd etiladi.
4. Neytron yulduzlariga muhit akkretsiyasi tufayli ular rentgen nurlanishi manbaiga aylanadi va ularni massasi ham oshib borib, massasi neytron yulduzlar kritik massasidan oshgandan keyin qora tuynukka aylanadi.
5. Relyativistik obyektlar, neytronli yulduzlar yoki qora tuynuklar, qo'shaloq yulduzlar tarkibiga kirganida, ularga normal yulduzlar muhiti akkretsiyasi tufayli rentgen nurlanishi manbaiga aylanadilar.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. Гинзбург В. Л. Пульсары. М, Знание, 1970
2. Каплан С. А. Физика Звёзд. М, Наука, 1970.
3. Шкловский И. С. Звёзды. М, Наука, 1975.
4. Сюняев Р. А, Шакира Н. И. Жизнь умерших звёзд. 1975, №10.
5. Руффики Р, Уиллер Дж. Знакомьтесь черная дыра “Земля И вселенная”, 1972, №2.
6. Зельдович Я.Б., Новиков И.Д. Теория тяготения и эволюция звёзд. М, Наука. 1971.
7. Сюняев Р.А., Шакура Н.И. Рентгеновские источники в двойных системах. В сб. явления нестационарности И звёздная эволюция. М, Наука, 1974.
8. Рейсон Д, Гер Хаар Д. Нейтронные звёзды и пульсары. М, Мир, 1973.
9. Пенроуз Р. Черные дыры – успехи физических наук. 1973, Т 109, с 355.
10. П.И.Бакулин и др. “Курс общей астрономии”, М.: Наука, 1983 г.
11. Сатторов И.С. “Астрофизика”, Тошкент, Ўқитувчи. 2007 й.
12. Агекян Т.А. “Звёзды, галактики, метagalaktika”. Москва, Наука, 1977 г.
13. Шкловский И.С. “Звёзды: их рождение, жизнь и смерть”, М.: Наука, 1977 г.
14. Аллер А. “Атомы, звёзды и туманности”, М.: Мир, 1976 г.
15. Мурсалимова Г., Рахимова А. “Умумий астрономия курси”, Тошкент, Ўқитувчи, 1976 й.
16. Алимов Т.А., Махмудов Б.М. “Астрономия асослари”, Самарқанд, 2003 й.
17. Алимов Т.А., Махмудов Б.М. “Космик нурлар физикаси”, Самарқанд, 2007 й.