

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

ALISHER NAVOIY NOMIDAGI SAMARQAND DAVLAT UNIVERSITETI

Qo'lyozma huquqida

UDK: 523(078)

HAMRAYEV YO'LDOSH BURXONOVICH

“Moddalarning beshinchi agregat holatining astrofizikadagi o'rni”

5A440302 – Astrofizika, radioastronomiya

Magistr

akademik darajasini olish ucyun yozilgan

DISSERTASIYA

**Ish ko'rib chiqildi va himoyaga
ruhsat berildi.**

**“Astrofizika” kafedrası mudiri
prof. Mahmudov B.M._____**

Ilmiy rahbar:

Dots. Alimov T.A._____

SAMARQAND-2011

MUNDARIJA

Kirish.....	
Bob I. Moddalarning Beshinchi agregat holatining xossalari	
§1.1. Moddalarning beshinchi agregat holatining kashf etilishi.....	
§1.2.Boze-Eynshteyn va ideal gaz Boze-kondensasiyasining statistikasi.....	
§1.3. Lazerlarda yorug'likning induksiyalangan nurlanishi.....	
§1.4. O'taoquvchanlik.....	
Bob II. Kosmogoniya va kosmologiyaning asosiy muammolari	
§2.1. Quyosh sistemasining vujudga kelishi va evolyusiyasi.....	
§2.2. Gigant va Yer tiplaridagi sayyoralarning kelib chiqishi.....	
§2.3. Yulduzlar kosmogoniyasi.....	
§2.4. Galaktikalarning vujudga kelishi.....	
Bob III. Kosmologik prinsip va Koinot modellari	
§3.1. Kosmologik prinsip. Koinot modellari.....	
§3.2. Relyativistik astrofizika.....	
§3.3. Koinot vujudga kelishi va evolyusiya bosqichlari.....	
Bob IV. Moddalarning beshinchi agregat holatining astrofizikadagi o'rni	
§4.1. Gravitasion yulduzlar.....	
§4.2. Muhitning oltinchi agregat holati.....	
§4.3. Boze-Eynshteyn kondensatidagi akustik qora tuynuk.....	
§4.4. BEK astrofizik hodisalarni Yerda o'rganilishi uchun mini laboratoriyadir....	
Bob V. Qora tuynuklar va ularning xususiyatlari	
§5.1. Yulduzlar ichidagi fizik sharoitlar.....	
§5.2. Eynshteynning tortilish nazariyasi.....	
§5.3. Qora tuynukda fazo va vaqt xususiyatlari.....	
§5.4. Osmon mexanikasi qora tuynuk maydonida.....	
§5.5. Aylanuvchi qora tuynukning tortilish maydoni.....	
§5.6. Qora tuynuklar qanday kuzatiladi.....	
Xulosalar.....	
Foydalanilgan adabiyotlar.....	

Kirish

Koinotda eng ko'p tarqalgan obyektlar yulduzlardir. Kosmik muhit massasining 98% ko'prog'i shu gazli sharlarga to'g'ri kelib, qolgan qismi yulduzlararo fazoda taqsimlangandir. Hozirgi paytda ma'lum bo'lgan deyarli barcha ximiyaviy elementlarning paydo bo'lishi yulduzlar evolyusiyasiga bog'liqdir. Shuning uchun yulduzlarni o'rganilishi nafaqat astrofizik obekt sifatida muhimdir, balki materiya evolyusiyasini ma'lum bosqichlarini aniqlashda muhimdir. Hozirgi paytda nazariy astrofizikaning metodlari yulduzlarini ichidagi va atmosferasidagi fizik holatlarini aniqlash imkoniga va yulduzlarni evolyusiyasini o'rganish imkoniga egadir.

Aniqlanishicha yulduzlar o'zlarini evolyusiyasi davomida turli holatlarda o'tishi mumkin. Qizil gigant yulduz o'zining hayotini oxirida portlash natijasida Koinotda o'zini namoyon qilish mumkin. Bunday obektlarga o'ta yangi yulduzlar deyiladi. O'ta yangi yulduzlarning qoldiqlari massasiga ko'ra, oq karlikga, neytron yulduzga yoki qora tuynuklarga aylanishi mumkin. Oxirgi yillardagi astrofizikadagi izlanishlar haqiqattan ham bunday obektlar koinotda mavjud ekanligini tasdiqlaydi [3]. Bunday obektlar orasidan eng paradoksiali qora tuynuklardir.

Qora tuynuklarni bo'lishi Eynshteyning gravitasion tortilish nazariyasidan kelib chiqib, bunday obektlar shu darajada kuchli gravitasiya maydoniga ega bo'ladiki, hech qanday fizik jism va hech qanday signal undan chiqib keta olmaydi. Hozirgi vaqtda qora tuynuklarni mavjudligi oxirigacha isbot etilmagan bo'lsa ham, koinotda kuzatilgan bir necha juda katta massali (Quyosh massasidan bir necha o'n million marotaba katta) obektlar qora tuynuklar ekanligiga kuchli asoslar mavjuddir. Ana shunday asoslardan birinchisi, moddalarning beshinchisi agregat holati Boze-Eynshteyn kondensat holatini laboratoriyada kuzatilishidir [5].

Moddalarning beshinchisi agregat holati bazonlari sistemasini nanokelvingacha (-273^0s ga yaqin tempraturagacha) sovutilganda hosil qilindi. Moddalarning beshinchi agregat holatini hosil qilinganligi uchun amerikalik olimlar Erik Karnell, Karl Viman va nemis fizigi Volfgan Ketterli 2001 yil nobel mukofotiga sazovor bo'ldi.

Koinot relikt nurlanishi bilan to'ldirilganligi uning tempraturasi $2,7\text{K}(-273^0\text{ga yaqinligi})$ qora tuynuklarning muhiti beshinchi agregat holatida bo'lmasmikan degan

savolga olib keladi.

AQSHlik astrofiziklar Emil Matolla va Pavel Mazurlar qora tuynuklar qora tuynuk emas balki, muhiti moddalarning beshinchi agregat holatiga qondosh bo'lgan ichi bo'sh pufakdan iborat degan g'oyani ilgari surdilar. Bunday obyektlar gravitasion yulduzlar deb nom berildi. Gravitasion yulduzlar ham xuddi qora tuynuklar kabi juda kuchli gravitasiya maydoniga ega bo'lib, kuchli radiasiya (rentgen nurlanishi) manbaidir. Qora tuynukning hodisalar gorizontidan tashqarida hosil bo'lgan rentgen nurlanishi undan uzoqlashadi.

Qora tuynuklar mavjudligini ko'rsatuvchi ikkinchi asos 2009 yili labaratoriyada akustik qora tuynukni kuzatilishidir. Izroillik fiziklar moddalarning beshinchi agregat holatini hosil qilib, unda akustik qora tuynukni kuzatdilar [9]. Aniqlanishicha akustik qora tuynuk ham xuddi garvitasion qora tuynuk kabi hodisalar gorizontiga ega bo'lib, bunday gorizontdan ichkarida hosil bo'lgan tovush to'lqinlari (fononlar) qora tuynuk tomonidan yutiilib, gorizontdan tashqarida hosil bo'lgan akustik to'lqinlar undan uzoqlashadi. Olimlarning fikricha bunday obektni hodisalar gorizonti yaqinida tovush to'lqinlarini hosil qilib, shunday tovush signallarini qayd qilish mumkin, o'zining issiqlik spektriga ko'ra garvitasionqora tuynuklarning Xoking nurlanishiga o'xshashdir. Agar olmlar Boze-Eynshteyn kondensatdan bunday akustik nurlanishi qayd etsalar, haqiqattan ham Xoking nurlanishi, ya'ni gravitasion qora tuynuklar mavjudligini va qora tuynuklarning muhiti beshinchi agregat holatda bo'lganligini isbot bo'lar edi.

Bob 1. Moddalarning beshinchi agregat holatining xossalari.

§1.1 Moddalarning beshinchi agregat holatining kashf etilishi.

Zarralarning asosiy xarakteristikalaridan biri, xususiy harakat miqdori momenti (spini) hisoblanadi. Spin deb, aylanuvchi kvant soni zarralarning ko'chishiga bog'liq bo'lmagan kvant tabiatiga ega bo'lgan harakat xarakteristikasidir. Spin Plank doimiysi birligida o'lchanib, J ga tengdir, bunda J zarralarning tabiatiga bog'liq ravishda butun son qiymatlarni (nol bilan birgalikda) yoki yarim son qiymatlarini (masalan $1/2$) qabul qilish mumkin. Butun sonli spinga ega bo'lgan zarralar xususiyatlarini Sh. Boze va A.Eynshteyn tomonidan o'rganilgan bo'lsa, yarim butun son spinli zarralar xususiyatlarni E.Fermi va P.Dirak tomonidan o'rganilgan. Shuning uchun bunday zarralarning mos ravishda bazonlar va fermionlar deb yuritiladi. Fermionlarga misol qilib nuklonlarni, elektronlarni, toq sondagi nuklonlardantashkil topgan atomlarni ko'rsatish mumkin bo'lsa, bazonlarga misol qilib nuklonlarni soni juft bo'lgan atomlarni elektromagnit maydon kvantlari fotonlarni, magnonlarni va hokazolarni ko'rsatish mumkin. Fermionlar va bazonlar prinsipial turli fizik xususiyatlarga egadirlar. Fermionlarning bazonlardan asosiy farqi shundan iboratki, fermionlar sistemasining bitta energetik kvant sathidan bittadan ziyod fermion bo'lishi mumkin bo'lmasa, bazonlar sistemasining bitta kvant sathi istalgan sondagi bazonlar bo'lishi mumkin.

Bazonlar sistemasining bunday xususiyatidan foydalanib Eynshteyn 1925 yilda bazonlar sistemasini kritik temperaturadan past tematuralargacha sovitilganda yangi sistemaga o'tish g'oyasini ilgari surilgan edi [1]. Bu g'oyani ilgari surilganiga 70 yildan ko'p vaqt o'tgan bo'lsa ham, bunday holatga muhitni o'tishini tajribada kuzatish yaqinda amalga oshirildi.

Magnitooptik usullar yordamida ya'ni lazer yordamida past tematuralarni hosil qilish usuli muhitlarni Boze-Eynshteyn kondensat (BEK) holatiga o'tkazish va uni qayd qilish imkonini beradi.

1995 yili bir vaqtda uch guruh fiziklar atomlarning BEK holatini qayd etishdi. Volfgang Keterli boshchiligidagi AQSH fiziklar guruhi 500 ming rubidiy atomlaridan (bazonlar guruhidan) tashkil topgan sistemani, magnitooptik ushlovchi yordamida

ushlangan zarralar bulitini sovutish natijasida BEK ni kuzatdilar [1-3]. Qayd qilingan BEK da barcha zarralar bir xil nolga teng tezlikga ega ekanligi aniqlandi.

BEK da ya'ni juda past tempraturalargacha sovutilgan ko'p sonli atomlar o'zining erishishi mumkin bo'lgan eng past kvant holatiga erishib, unda past effektlari makroskopik sathda o'zini namoyon etadi. BEKda atomlarning de-Broyl to'lqin uzunligi taxminan atomlar orasidagi masofaga teng bo'ladi.

Atomlar BEKni ya'ni moddalarning beshinchi agregat holatini hosil qilinganliklari uchun Erik Kornel, Volfgang Ketterle va Karl Vinam 2001 yilda Nobel mukofotiga sazovor bo'ldilar.

BEK tajribada kuzatilgandan keyin uning xususiyatlarini o'rganishga jadallik bilan kirishildi. Kondensatning kvant kogerentlik xususiyati, ikkita kondensat interferensiyalanishida qora palasalarning hosil bo'lishi, atom+atom jarayoni natijasida vakuum hosil bo'lishini bildiradi. Bu kondensatni, shu bilan birgalikda materiyaning g'ayritomuz xususiyatidir. Hozirgi paytda BEK da yotuvchi ko'pgina xususyatlar o'rganilgandir va o'rganilayapti. Bunga misol qilib atomli lazerlar qurilganligi, atomli materiyaning qora va yorug' sametonlarini qayd qilnanligini ko'rsatish mumkin.

AQSHlik olim Kornelning qayd qilishicha samolyot fyuzelajiga o'rnatilgan bunday atomli interferometr yordamida og'irlik kuchini juda kichik o'zgarishlarini va yo'nalishini aniqlash mumkindir. Shuning uchun bunday asbob yordamida yer osti havzalarini, metall rudalari konlari, hatto bunkerlarni tonnellarni, mavqeini aniqlash mumkindir. Atomli interferotetirlar aylanish datchiklarini aniqligini minglab marotaba oshiradi. Shuning uchun bunday interferometrlar sun'iy yo'ldoshli sistemalarga o'rnatib, undan foydalanishda ahamiyati kattadir. Aytish mumkinki, yaqin vaqt oraligida olimlar muhit yangi beshinchi holatni ko'pgina xususyatlarini aniqlab, uni hayotga tadbiiq etadilar.

§1.2 Boze-Eynshteyn va ideal gaz Boze kondensotsiyaning statistikasi

Bir xil atomlardan tashkil topgan o'zaro faqatgina elastik to'qilanishlar orqali ta'sir etuvchi gazni ko'rib chiqamiz. Agar sistemada zarralar soni N katta bo'lsa, uni ifodalashda molekulyar–kinetik nazariyasining Maksvell-Bolsman statistikasiga asoslangan statistik metodlardan foydalanish lozim. Bularga tayanib, barcha ma'lum bo'lgan gaz qonunlarini keltirib chiqarish mumkin, bunday qonunlarning tadbiq etilishi muhitning kvant tabiati bilan chegaralangan bo'ladi. Haqiqattan ham kvant nazariyasiga ko'ra impulsi $\bar{p}$ bo'lgan erkin harakatlanuvchi atom impulsiga teskari proporsioonal bo'lgan de-Broyl to'lqin uzunligi bilan ifodalanuvchi to'lqin xususiyatiga ega bo'ladi.

$$\lambda = h/p \quad (1.1)$$

Bunda $h=6,63 \cdot 10^{-34}$ J's-Plank doimiysi. Absolyut nol temperaturaga yaqin temperaturada atomlarning issiqlik harakatiga mos keluvchi de-Broyl to'lqin uzunligi, atomlar orasida masofa bilan bir xil tartibda bo'ladi.

(zarralarning o'rtacha kvadratik tezligi quydagi $\bar{v} = \sqrt{\frac{3kT}{m}}$ formula bilan aniqlanishi eslaymiz, bunda T -absolyut harakat, k -Bolsman doimiysi, m -atomlarning massasi) sistemaning makroskopik xususiyatlari kvant effektlari orqali aniqlinishi kerak. sistemaning makroskopik cheklanganligi atomning V/N hajmdagi lokalizasiyasini kvanto-mexanik cheklanganligi yetarlicha bo'lmaguncha o'rinli bo'lishi kerak, bunda $N \cdot V$ joylashgan bo'lsin. Klassik ifodalash sharti, ya'ni de-Broyl to'lqin uzunligini kub qirrasidan kichikligi $\lambda \ll a = (V/N)^{1/3}$ quydagicha yoziladi.

$$\frac{h}{(3mkT)^{1/2}} \cdot (N/V)^{1/3} \ll 1 \quad (1.2)$$

Tushunarliki (1.2) Tengsizligi yengil atomlar, zich gazlar va past tempraturalarda buziladi. (1.2) shart quydagi tengsizlik bilan teng kuchlidir.

$$T \gg T_0 \quad (1.2')$$

Bunda $T_0 = (N/V)^{2/3} \left(\frac{h^2}{3mk} \right)$ aynish temperaturasi deyiladi. Aniq nazariya T_0 uchun, uning yuqoridagi qiymatidan juda kam farq qiluvchi qiymatni beradi.

Sistemaning holati $T < T_0$ da Bolsman statistikasi o'rinli bo'lmaydi. Agar zarralar butun sonli ($\hbar = h/2\pi$ birligida) xususiy harakat momentiga (spinga) ega bo'lsa ular Boze-Eynshteyn statistikasiga, butun bo'lmagan spinga ega bo'lmagan zarralar esa Fermi-Dirak statistikasiga bo'ysunadi. Bu ikki statistikadagi farq n-ta bir xil zarralardan tashkil topgan sistemani erishishi mumkin bo'lgan kvant holatlarini sanash qoidalarini turlichaligidadir. Bunda (bazaonlar) ikki zarrani joy almashtirishiga nisbattan simmetrik, fermionlar esa antisimmetrik to'lqin funksiyasi bilan ifodalanadi. Bizga o'nta bir xil farq qilib bo'lmaydigan zarralar berilgan bo'lsin va ular ikki «1» va «2» holatda joylashgan bo'sin. Agar zarralar Boze-Eynshteyn statistikasiga bo'ysunsa bo'lishi mumkin bo'lgan konfiguratsiyalari (10 zarra bita holatda nol zarra) yoki (5 zarra bitta holatda ikkinchi holatda ham 5zarra) statistik og'irliklari o'zaro teng. Og'irliklar 1:1 nisbatda bo'ladi. Agar zarralar o'zaro farqlanuvchi bo'lsa (Maksvell-Bolsman statistikasiga bo'ysunadi) u holda statistik og'irliklar nisbati 1:252 kabi bo'ladi, ya'ni zarralarning holatlar bo'yicha tekis taqsimlanishi (aytaylik idishni yarmiga ko'ra), keskin notekis taqsimlanishiga (barcha zarra idish yarmida) ko'ra ehtimolliroqdir. Boze-Eynshteyn statistikasida 1-chi sathidan zarralar soni quyidagicha:

$$n_i = \frac{1}{\exp((\varepsilon_i - \mu)kT) - 1} \quad (1.3)$$

Bunda ε_i - i - chi xolatdagi zarralar energiyasi; μ - ximiyaviy potentsiali, μ va T sistemaning to'liq zarralar soni n va to'liq energiyasi E orqali aniqlanadi.

$$N = \sum_i \frac{1}{\exp((\varepsilon_i - \mu)kT) - 1}; \quad E = \sum_i \frac{\varepsilon_i}{\exp((\varepsilon_i - \mu)kT) - 1}; \quad (1.4)$$

Boze-Eynshteyn kondensasiyasi quyidagidan iborat bo'ladi, nol impulsi asosiy holatdagi n zarradan N_0 tasi «g'unlashadi», ulushi quyidagi formula yordamida topiladi:

$$N_0/N = 1 - (T/T_0)^{3/2} \quad (1.5)$$

Hodisani bug'ni suyuqlikka kondensasiyasiga o'xshatib Boze kondensasiya deb atashgan, lekin bu yerda xech qanday kondensasiya vujudga kelmaydi. Odatdagi fazoda zarralarning taqsimlanishiga avvalgiga qolib, kondensasiya impulsar fazosida

vujudga keladi.

Ko'pchilik gazlar uchun aynish temperaturasi shu qadar kichikki, muhit BEKga o'tishdan oldinroq qattiq xolatga o'tadi.

§1.3 Lazerlarda yorug'likning induksiyalangan nurlanishi

Lazer boshqa yorug'lik manbalaridan quyidagi xossalar bilan, birinchidan, qat'iy bitta to'lqin uzunlikdagi nurlanishni chiqarilishi bilan 2 chidan yuqori nurlanish intensivligi bilan, uchinchidan, nurlanishni juda kichik burchak ichida tarkalishi bilan tarqaladi. Lazerlarning bunday xususiyatlarga ega bo'lishini tushunish uchun xar qanday yorug'lik manbaida, nurlanish qanday xosil bo'lishini eslaymiz.

Har qanday tradision manba bo'lsin, elektrik manbami yoki o'rta asrli lampami, yoruglik manbaiga uzatiladigan energiya xisobidan, uning atomlarini qo'zg'alishi ya'ni atom elektronlarni yuqori energetik xolatlarga o'tishi vujudga keladi. Atomlarning yuqori holatdan pastki holatga teskari o'tishi fotonlarni nurlanish orqali amalga oshadi. turli atomlarning nurlanish orqali pastki holatga o'tishi bir-biriga bog'liqsiz amalga oshirilganligi sababli, turli atomlar tomonidan nurlanayotgan fotonlar turli tomon uchib ketadi va turlicha energiyaga ega buladi. Lazer nurlanishini hosil kilish uchun chiqayotgan fotonlarni aniq bitta yo'nalishida chiqishiga va bitta energiyaga ega bulishiga majbur qilish kerak.

Lazerda bunday problema Boze-Eynshteyn kondensasiyasi effekti yordamida hal etilib, uni fotonlarga tadbiq etganda indusirlangan nurlanish effekti deyiladi. Bu effektni amalga oshirish uchun nurlanayotgan atomlarni (lazerning aktiv muhitini) ikkita yassi orasiga joylashtiramiz (lazerning rezanatori). Ko'zgularning tekisligiga perpendikulyar atom nurlanishlari kuzgulardan ko'p marotaba sochilganliklari tufayli turuvchi (stoyaguyu) yoruglik tulqinini hosil qiladi va bu faktning mavjudligi keyingi nurlanishi aktlariga o'zini ta'sirini o'tkazadi. Bu bilan bog'liqlikni rezanatoridagi turuvchi to'lqin fotonlar aniq energiyasi bilan (chunki ko'zgular orasidagi fiksasiyalangan masofa nurlanishi yorug'ligini chastotasini belgilaydi) va aniq xarakat yo'nalishi bilan (ko'zgular tekisligiga perpendikulyar) xarakterlanadi. Boshqacha aytganda bu turuvchi fotonlar bitta holatda joylashgan fotonlar majmuasidan iboratdir.

Fotonlar bozonlar ekanligi sababli, Boze-Eynshteyn effektiga muvofik yangi nurlanayotgan fotonlar turuvchi to'liq nurlanishdek, xuddi shunday energiya va huddi shunday yo'nalishga ega bo'ladi. Bunday fotonlarning nurlanish ehtimoliyati turuvchi to'liqidagi fotonlar sonining ko'pligiga bog'liq ravishda oshadi, natijada nurlanish intensivligi yuqori kattaliklarga erishadi. Agar rezanatorning ko'zgularidan birini yarim shaffof qilinsa, fotonlarni bir qismi lazer nurlanishini hosil qilib, lazerlarning yuqorida qayd etilgan xususiyatlarini hosil qilib chiqib ketadi.

Shunday qilib fotonlarni Boze-Eynshteyn kondensasiya effekti lazerlarni ishlash va konstruksiyasini fundamentini hosil qiladi. Boze-Eynshteyn kondensasiyasining osobennostlari yaqqol namoyon bo'ladigan ikkinchi effektga O'taoquvchanlik deyiladi.

§1.4 O'taoquvchanlik.

1938 yilda P.L. Kapisa suyuq geliyning tor kapillyarlarida g'ayratomuz oqimi qobiliyatini kuzatdi, tabiiy Geliy qovushqoqligi va kapillyar devorlari bilan ishqalanishi borligi tufayli bunday qobiliyatga ega emasdir. Geliyning qovushqoqligini yo'qligi nafaqat tor kapillyarlarda va tor teshiklardan oqishida kuzatiladi, balki bir idishdan devorlari orqali ikkinchi idishga o'tishida ham kuzatiladi. Geliyning ishqalanishsiz oqish qobiliyatiga o'taoquvchanlik deb nom qo'yilgan. O'taoquvchanlik hodisasi spetsifik kvant hodisasi bo'lib, uni klassik nazariya asosida tushuntirib bo'lmaydi. Klassik nazariyasiga ko'ra xar qanday suyuqlik qovushqoqlikka egadir. Ko'p hollarda suyuq Geliyga kvant suyuqligi deyiladi. Suyuq geliy xususiyatlarini tekshirishda, geliyning ikkita izotopi borligini nazarda tutish kerak, massalar soni 3 ga teng bo'lgan He_2^3 va massalar soni 4 ga bulgan He_2^4 , He_2^3 tarkibida ikkita proton, bitta neytron mavjud bo'lsa, He_2^4 tarkibida ikkita proton va ikkita neytron mavjud bo'ladi[8]. Tabiatdagi geliy tarkibida He_2^3 miqdori He_2^4 miqdoridan million marotaba kamdir, shuning uchun Geliy faqatgina He_2^4 lardan tashkil topgan deb olish mumkin.

O'taoquvchanlik hodisasini tushuntirishda geliy yadrolari 4 ta fermionlardan tashkil topganligini va shuning uchun butun son spinga ega bo'lib, bazon ekanligini xisobga olish muhimdir. Bu holat qanday Geliyni ishqalanishsiz oqishga imkon

berishini aniqlaymiz. Biz bilamizki, odatdagi suyuq geliyning ishqalanish bilan oqishi uning molekulalarini oqayotgan yuza notekisliklari bilan o'zaro ta'siri tufayli yuz beradi. Bunday ta'sirlar natijasida suyuqlik molekulalari tormozlanib, suyuqlik oqimi sekinlashadi. Ma'lumki butun suyuqlik oqimi tormozlanishi jarayoni, molekulalarni ko'plab tormozlanish akteari tufayli vujudga keladi, chunki yuzaning har qanday mikroskopik birjinslimasligi uning yaqinidagi molekulalarni tormozlaydi. tushunarliki, bozonlar uchun bunday tormozlanish mexanizmi ishlamaydi. Chunki alohida molekula bozon holati harakat tezligi vektori bilan harakatlanib, Boze-Eynshteyn kondensasiyasi effekti tufayli barcha molekulalar bir tomonga qarab bir xil tezlik bilan xarakat qiladi. Boze-Eynshteyn kondensasiya effekti obrazli qilib aytganda bozonlarni kollektiv xarakterini namoyon kiladi. Shuning uchun molekula-bozonlar suyuqliklari oqimida, huddi odamlar to'dasining kollektiv birgalikdagi harakatida bitta odamni tormozlash qiyinligi kabi, bitta bozonni tormozlash qiyin bo'ladi. Bozonlar oqimini tormozlanishini bitta yo'li, butun bozonlar kollektivini tormozlashdan iborat bo'ladi. Tormozlash mumkin, faqatgina suyuqlikda kollektiv qo'zg'alishlar paydo bo'lganda, bunday qo'zg'alishlarda makroskopik ko'p sondagi zarralar ishtirok etadi. Lekin bunday qo'zg'alishlarni hosil bo'lishida katta energiya talab qilinadi. Kichik temperaturalarda bunday energiyani atrof-muhitdan olish mumkin emas, bunday energiya yo'q. Shuning uchun suyuqlikni kollektiv qo'zg'alish energiyasini yagona manbai suyuqlik molekulalarining ilgarilanma harakat kinetik energiyasidir[7]. Molekulalarning kinetik energiyasi (ilgarilanma harakat tezligi) kritik qiymatdan oshgani bilan, yuqorida qayd etilgan kollektiv qo'zg'alish mumkin bo'lib, suyuqlik o'taoquvchanlik xususiyatini yo'qotadi.

Bob II. Kosmogoniya va kosmologiyaning asosiy muammolari

§2.1. Quyosh sistemasining vujudga kelishi va evolyusiyasi

Koinot obyektlarining (sayyoralar, yulduzlar va h.k.) vujudga kelishi va evolyusiyasi muammolarini Nyuton mexanikasi doirasida o'rganadigan fan **kosmogoniya** deyiladi. Kosmogoniya muammolarining hal etilishi ilmiy dunyoqarashimizni bir butun rivojlantirish uchun juda muhim bo'lib, u nafaqat astronomlarni, balki boshqa fan olimlari uchun ham qiziqarlidir. Shu bilan birga, kosmogoniya muammolari astronomiyaning ancha murakkab masalalari qatoriga kiradi. Darhaqiqat, biz hozir ko'rib kuzatayotganlarimiz – bu shu ondagi koinot tasvirlaridir. Bu kuzatuv natijalari orqali biz obyektlar va ular sistemalarining shu vaqtdagi holati haqidagina xulosa qila olamiz, lekin ular avval qanday holatda bo'lgan va kelajakda nima bo'ladi? – Mana bu masalalarni hal qilish esa albatta ancha og'ir masala hisoblanadi. Shunga qaramasdan, oxirgi vaqtlarda biz osmon jismlarining paydo bo'lishi va rivojlanishi haqida ko'pgina xulosalarga ega bo'ldik [4-5].

Kosmogoniya muammolarini hal qilishda asosan ikki xil yondoshishdan foydalaniladi. Birinchi yondoshish bu – nazariy yo'l bo'lib, bunda fizikaning umumiy qonunlaridan kelib chiqqan holda osmon jismining shu kunda ega bo'lgan xususiyati uchun boshlang'ich holat aynan qanday bo'lganligi va qanday rivojlanish bosqichini o'taganligi haqida xulosa qilinadi. Ikkinchisi bu – kuzatuv bo'lib, bunda turli rivojlanish bosqichida bo'lgan osmon jismlari xususiyatlari solishtirilib, bu rivojlanish qanday bosqichlar ketma-ketligidan iborat ekanligi aniqlanadi. Bu usulni bilan biz albatta, ko'psonli obyektlarga, jumladan, yulduzlar va ularning to'dalari, gaz tumanliklari, galaktikalarga qo'llashimiz mumkin. Lekin sayyoralar sistemasi masalasida esa bu ancha murakkab, chunki biz faqat bita shunday sistemani, ya'ni Quyosh sistemasini bilamiz. Shuning uchun, sayyoralar sistemasi nazariy usulda o'rganiladi.

Shuni alohida aytish kerakki, alohida obyektlarni o'rganish bir butun koinotning xususiyatlari haqida xulosa chiqazishimiz uchun yetarli emas. Koinotning bir butun tuzilishi, uning fizik tabiati va evolyusiyasi masalasi bilan astronomiyaning aloxida bo'limi bo'lmish – kosmologiya shug'ullanadi. Hozirgi kunda eng zamonaviy teleskoplar bilan kuzatish mumkin bo'lgan chegaradagi koinotga Metagalaktika deyiladi. Kosmologiyada, hususan, manna shu Metagalaktikaning umumiy xususiyatlari

o'rganiladi. Kosmologiya muammolarini hal qilishda umumiy nisbiylik nazariyalaridan foydalaniladi. Bundan tashqari, kosmologiya astronomiyaning boshqa bo'limlari kabi kuzatuv ma'lumotlariga suyanadi. Ammo bu yerda yagona qiyinchilik shundan iboratki, butun koinotning xususiyatlari kuzatuv yordamida ishxol qilingan uning bo'laklari xususiyatlaridan tamomila farq qilishi mumkin. Biz kosmologiya bo'limida xususan, quyidagi muhim va qiziqarli muammolarni qaraymiz:

- Nima uchun koinotda modda aloxida-aloxida bo'laklardan iborat gaz bulutlariga ajralgan, qaysiki ulardan oqibatda galaktikalar yuzaga kelgan?

- Nima uchun bu galaktikalar o'zaro uzoqlashib ketyapti?

- Galaktikalar yuzaga kelishidan avval koinotdagi materiya qanday ko'rinishda bo'lgan?

Quyosh sistemasining vujudga kelishi haqidagi nazariyalar juda ko'p. Lekin har qanday bu mavzuga tegishli nazariya quyidagi kuzatuv ma'lumotlarini tushuntirib Bera olishi shart:

- 1) Quyosh sistemi massasining 99 % i Quyoshda jamlanib, qolgan 1 % gina uning atrofida aylanuvchi sayyoralar, ular yo'ldoshlari va hakozolarning birgalikda hosil qilgan massasiga to'g'ri keladi;

- 2) Quyosh sistemi harakat miqdorining 98% i sayyoralarda, 2% gina Quyoshda;

- 3) Sayyoralarning Quyoshdan uzoqligi tisius-Bode qonuniga bo'ysunadi: $R=0,3 \cdot 2^n + 0,4$ (astronomik birlikda);

$n=-\infty$ da Quyoshdan Merkuriygacha masofa.

$n=0$ Quyoshdan Veneragacha bo'lgan masofa.

$n=1$ Quyoshdan Yergacha bo'lgan masofa.

$n=2$ Quyoshdan Marsgacha bo'lgan masofa.

$n=3$ Asteroidlar poyasi joylashgan.

$n=4$ Yupiter

$n=5$ saturn

Plutonga qadar shu formulani ishlatsa bo'ladi.

- 4) Barcha sayyoralar Quyosh atrofida va o'z o'qi atrofida aylanma harakatda bo'ladi;

5) Venera va Uran o'z o'qi atrofida aylanishi orbital aylanishiga teskari bo'lib, qolgan 7 ta sayyora o'z o'qi atrofida aylanish yo'nalishi ularning orbital harakat yo'nalishiga mos keladi;

6) Sayyoralar massalari, o'lchamlari, kimyoviy tarkibi va yo'ldoshlarining soni bo'yicha Yer tipidagi va gigant sayyoralar turlariga bo'lingan;

7) Gigant sayyoralar atrofida ulkan xalqasimon strukturalar mavjud. Bu xalqalar turli xil muzliklar va gaz-changlardan iborat.

8) Gigant sayyoralarning tabiiy yo'ldoshlari 10-20 ta, Yer tipidagi sayyoralarda esa bitta, ikkita, yoki umuman yo'q;

9) Hamma sayyoralar taxminan bitta tekislikda yotuvchi ellipslar bo'yicha bir tomonga harakat qiladilar;

10) Quyosh sayyoralar sistemasining markaziy tekisligiga taxminan perpendikulyar bo'lgan o'q atrofida aylanadi;

11) Mars va Yupiter sayyorolari orasida kichik sayyoralar belbog'i mavjud.

Turli mavjud bo'lgan nazariyalar ichida nisbatan ko'proq kuzatuv ma'lumotlarini tushuntirib bera oladigan (lekin hammasini emas) nazariya bu Laplas va Shmidt nazariyasi bo'lgan hamda u quyidagicha ta'riflangan:

Yulduzlar yakka tug'ilmay, balki guruh bo'lib tug'iladi va biron bir guruhlardan biri protoquyosh sistemi bo'lgan. O'sha vaqtda ushbu bulut bir necha baravar katta ekanligi va ma'lum kichik aylanish momentiga ega bo'lganligi kuzatuvlardan ma'lum. Bu holatni $T=0$ deb olsak, taxminan 10^5 yil ichida ushbu protosistema yadrosi va uning atrofida mayda bulutchalar vujudga kelishi hisob-kitoblardan topilgan. Gravitasion siqilish davom etib, markaziy sohada asta-sekin protoquyosh paydo bo'la boshlagan va u siqilib unda termoyadro reaksiyasi boshlanishi uchun 10^8 yil kerak bo'lgan. Shu davr ichida protoquyosh atrofida akkrision disk vujudga kelib, bu disk o'z tekisligidagi gravitasion barqarorligi tufayli qator xalqalarga bo'linib ketgan. Ushbu xalqalarda sayyoralarning tug'ilish jarayoni ro'y berib 10^8 yilda, xususan Yerning protosayyorasi vujudga kelgan. Merkuriy va Venera uchun ular xalqasi kichikligi tufayli undan moda tez yig'ilib 100 marta kam davrda shu 2 sayyoraning protosayyorolari holati vujudga kelgan. Yer protosayyorasi endi vujudga kelganda uning o'lchami 150 marta katta

bo'lgan. U siqilib borib o'z o'qi atrofida aylanishi oshib borgan siqilishi bugungidan taxminan 5 soatda o'z o'qi atrofida to'la aylanib chiqardi. shu davrdan 10^6 yil o'tgach u sovib aylanish tezligi bugungi kundagi holatiga yetib kelgan[3].

Hozirgi kunga kelib yuqoridagi nazariyalar yanada rivojlantirildi va u nazariyaga ko'ra Quyosh sistemasining yuzaga kelishi quyidagi bosqichlarga aniq ajratilgan:

1) H_2 , H_2O , OH va boshqa molekulalar hamda changdan iborat yulduzlararo modda bulutining zichlashishi. Bu zichlashish o'ta yangi yulduzning portlashi natijasida atrofga tarqalgan zarb to'liqini natijasida bo'lishi mumkin. Bu portlash maxsulotlari yulduzlararo changga singib borgan va oqibatda bu chang uglerodli xondritlar tarkibiga kirgan.

2) Massasi yulduz massasi tartibida va zichligi nisbatan katta bo'lgan bulut qismlari siqilish jarayonini boshlagan. Bulut bo'laklarga (frangmentlarga) bo'linib, bu bulaklarning biridan oqibatda Quyosh va Quyosh sistemi paydo bo'lgan. siqilayotgan bo'lak markazida gaz va changning quyuqlashishi yuzaga kelib, bu quyuqlashish akkresiya yadrosini yuzaga keltiradi. Akkresiya jarayoni – yadro o'zi atrofida siyrak muxitni yig'a borib, ma'lum bir yaqin kelganlarini o'ziga tartib olishi natijasida uning massasi uzluksiz oshib boradi.

3) Markaziy quyuqlashish massasi taxminan $0,1 m_{\odot}$ qiymatiga yetganda modda rangi xiralashib temperaturasi oshadi va undagi chang bug'lanadi. Bu esa fragment siqilishi boshlanganidan $10^4 - 10^5$ yil o'tgandan keyin ro'y beradi. Chang bug'lanishi bilan tezda vodorod molekulasining dissosiasiyasi jarayoni ro'y Beradi. Bunda markaziy quyuqlashish siqila boshlaydi va gazsimon protoyulduz (protoquyosh) shakllanadi. Bu protoyulduzning shakllanishi juda tez, taxminan 10-100 yil oralig'ida ro'y Beradi.

Protoquyoshga yulduzlararo moddaning akkresiyalanishi davom etadi va buning natijasida uning massasi va radiusi oshib boradi. taxminan 10^5 yildan keyin uning massasi hozirgi kundagi massasi darajasiga erishib, radiusi esa hozirgisidan, taxminan 100 barobar katta bo'lgan. Bu vaqtga kelib yulduzlararo moddaning qo'shilishi tugaydi va Protoquyoshning gravitasion siqilishi bosqichi boshlanadi. Bu davr davomida markazida protoquyosh bo'lgan disksimon protosayyora gaz-chang tumanligi yuzaga

kelib bo'ladi. Aslida bu disksimon protosayyora protoquyosh bilan bir vaqtda rotasion beqarorlik tufayli shakllanadi, lekin uning kattalashishi esa akkresiya jarayonida davom etadi. Protosayyora tumanligining maksimal massasini baholash turli nazariy modellarda xar xil va u taxminan $0,01$ dan $2 m_{\odot}$ gacha bo'lgan oraliqda joylashgan[4].

Protosayyora tumanligi diskining xalqasimon tuzulmaga ega bo'lishi mustasno emas. Diskning tashqi qismlarida gigant sayyoralar shakllana boshlaydi. Bu shakllanish jarayoni bilan bir vaqtda protoquyosh va uning atrofida yuqorida qayd etilgan disk ham shakllanib boradi. Bu diskdan esa keyinchalik tabiiy yo'ldoshlar sistemasi paydo bo'ladi.

Bu davrning boshlang'ich etapida protoyulduz shakllanishi oldida bug'langan va keyinchalik diskka tushgan chang moddasining ma'lum bir qismi qattiq holatiga yana qaytadi. Bu kondensasiya jarayonida oddiy xondritlarning zarrachalari va shu qatorda xondritlarning o'zlari ham yuzaga keladi.

Zamonaviy modellarda harakat miqdori momentining taqsimoti bo'yicha klassik muammoni hal qilish masalasida asosan protosayyora tumanligidagi gaz zarrachalari ionlashgan, a protoquyosh esa ma'lum bir magnit maydoniga ega deb faraz qilinadi. Plazma va maydonning o'zaro ta'sirlashuvi natijasida gaz oqimlari yuzaga kelib, ular protosayyora tumanligiga ma'lum bir harakat miqdori momentini uzatadi.

4. Keyingi bosqich taxminan 10^8 yilni o'z ichiga oladi. Bunda protoquyoshning gravitasion siqilishi davom etadi. Bu bosqichning boshida u savrning T tipli yulduzi bosqichida bo'ladi. siqilish davomida uning o'lchamlari kichiklashib hozirgi vaqtdagi o'lchamiga intilib boradi. Kuchli yulduz shamoli esib protosayyora tumanligining ichki qismidan gazni olib chiqadi. Protosayyora tumanligi tashqi qismlarida esa gigant sayyoralar shakllanishi davom etadi.

Protosayyora tumanligining chang moddasi borgan sari qandaydir o'rta tekislikka konsentrsiyalanib (yig'ilib) boraveradi. Yig'ilib borayotgan changlar to'qnashishi natijasida yanada yirik zarrachalar yuzaga keladi va qattiq jism akkumulyasiyasi jarayoni boradi. shu yo'sinda katta jismlarning asosiy o'sishlari kichiklari hisobiga yuz Beradi. Asteroidlarga o'xshash ulkan jismlar – bular kelajakda sayyoralarni paydo bo'lishi uchun zamin xisoblanadilar va sayyora asoslari deb ataladilar.

Vanihojat bir qancha aloxida ulkan jismlar shakllanadi. Ular akkresiya uchun yadrolar vazifasini bajaradi va atroflarida Yer tipidagi sayyoralar paydo bo'la boshlaydi. sayyora asoslari soni bu davrda juda ko'p bo'lib, to'qnashish natijasida ular nafaqat birlashadilar, balki xattoki parchalanadilar ham. Bunday parchalanishlar differensiallashgan meteoritlarni tug'ilishiga olib kelgan.

Taxminan 10^8 yil davomida Yer o'zining hozirgi o'lchamiga erishgan (ba'zan bu davrni 10^5 deb baholashadi). Yerga nisbatan Venera sayyorasi tezroq kattalashgan. Yer tipidagi sayyoralar tarixida akkresiya davri juda jiddatli vaqt hisoblangan. sayyoralar sirtiga ulkan sayyora asoslari to'dalari kelib urilib u yerda gigant kraterlarni hosil qilgan, ma'lum bir modda qismi fazoga otilib chiqqan, sayyora sirtidagi modda tarkibi uzluksiz o'zgarib turgan.

Albatta aytish mumkinki, bundan 4,5 milliard yil avval ro'y bergan xodisalar tavsifini aniq keltirish juda qiyin, lekin yulduzlararo muhit va juda yosh yulduzlarni kuzatish natijalari, Meteoritlar va sayyoralar atmosferasining tuzilishi hamda tarkibini tahlil qilish asosida biz kun sayin Quyosh sistemasining paydo bo'lishi va rivojlanish evolyusiyasi masalasining yechimi sari yaqinlashib bormoqdamiz.

§2.2. Gigant va Yer tiplaridagi sayyoralarning kelib chiqishi

XVIII asrda Nyuton mexanikasi yutuqlaridan foydalanilgan xolda koinot haqida quyidagi tassavur hosil qilindi: - koinot tabiatning aniq qonunlariga bo'ysunuvchi kosmik jismlar sistemasidir va bu sistema o'zgarmasdir. Unga ko'ra koinotning murakkab mexanizmi bir marta berilib, keyin esa u o'z-o'zidan o'zgarishsiz davom etavergan. 1644 y. Dekart birinchi bo'lib Quyosh sistemasi gaz va changdan iborat bulutdan yuzaga kelgan degan gipotezani aytgan. Xudi shunday gipotezani keyinchalik Byuffon (1749) va Kant (1755) lar rivojlantirgan. Ularning faraziga ko'ra bulut markazida Quyosh, periferiya qismlarida esa sayyoralar yuzaga kelgan. Lekin bu vaqtda hali atom nazariyasi, termodinamika, gazlarning kinetik nazariyasi, kosmosning elementlar bilan boyib borishi va boshqa ko'plab kerakli ma'lumotlarning yo'qligi sababli yuqoridagi gipotezalar to'laqonlik bilan ishlab chiqilmagan[2].

1796 y. Laplas tumanlikning aylanishi sayyoralar yuzaga kelishida asosiy rol o'ynagan degan xulosaga kelgan. Haqiqatan, masalan, siqilayotgan sferik tumanlikning

m massali elementi r radiusli orbita bo'ylab ma'lum bir burchak tezlik bilan aylanayotgan bo'lsin. Agar bu elementning $I = m\omega r^2$ harakat miqdori momenti o'zgarmas bo'lsa, unda uning ω – burchak tezligi tumanlikning siqilishi davomida oshib boradi. tumanlikning umumiy massasini M desak, m – massali elementga quyidagi og'irlik kuchi

$$F_1 = G \frac{M \cdot m}{r^2}$$

va quyidagi markazdan qochma kuchi ta'sir qiladi.

$$F_2 = m\omega^2 r = \frac{I^2}{mr^2}$$

siqilish jarayonida markazdan qochma kuch og'irlik kuchiga nisbatan tez o'sib boradi va ular tenglashganda rotasion beqarorlik yuzaga keladi. Bu beqarorlik natijasida tumanlik bosiqlashib borib, ekvator qismidan modda ajraladi. Ajralib chiqqan moddadan tumanlik atrofida saturn xalqlariga o'xshash tekislik shaklidagi xalqlar shakllanadi. Laplas tumanlikdan ajralib chiqqan gaz kondensasiyalanib borib sayyoralarni yuzaga keltirgan deb taxmin qilgan. Hozirgi kundagi zamonaviy kosmogonik tassavurlarda keltirgan gipotezalar saqlanib qolgan (Quyosh va sayyoralarning yagona tumanlikdan birgalikda paydo bo'lgani, rotasion beqarorlik nazariyalari).

Yuqorida aytilishicha, Quyosh sistemasida harakat miqdori momentining 98% i sayyoralarga va faqat 2% gina Quyoshga to'g'ri kelar ekan. Lekin agar birlik massaga to'g'ri kelgan harakat miqdori momentini (solishtirma burchak momenti) hisoblasak, u holda farq 50 marta emas, 50 000 martani tashkil etar ekan. Kant va Laplas gipotezalari klassik formada buni tushuntirib Bera olmagan. Haqiqatan, boshida siqilishdan avval tumanlikning hamma elementlari (qismlari) teng huquqli va bir xil burchak tezlikka ega bo'lgan. Ingliz olimi Jins bu qiyinchilikni bartaraf qilish maqsadida boshqa kosmogonik gipotezani taklif qildi. Jins gipotezasiga ko'ra Quyosh boshqa yulduzlar kabi sayyoralar sistemasisiz yuzaga kelgan, sayyoralar sistemasi esa Quyoshga juda yaqin o'tgan yulduzning uning qaridan ajratib yuborgan moddasidan yuzaga kelgan, ya'ni Quyoshdan ajralgan modda kondensasiyalanib borib sayyoralarni paydo qilgan.

Aytish mumkinki, ikki yulduzning yaqin masofada yuzaga kelish ehtimoli juda kichik va Galaktikamizning shakllanishi uchun ketgan davrda juda kam sayyoralar sistemasi yuzaga kelgan, hattoki faqat bita shunday sistema, ya'ni bizning Quyosh sistemamiz yuzaga kelgan. Bu xulosa o'z-o'zidan Jins gipotezasining to'g'riligiga shubha tug'diradi, lekin buni hal qiluvchi inkor fikr deb qarash kerak emas. Jins gipotezasini yanada chuqurroq qarab chiqsak boshqa shunday tushunmovchiliklar kelib chiqadi. Masalan, Quyoshdan ajralib chiqqan modda solishtirma burchak momenti Quyoshga yaqin o'tgan yulduzning burchak momentidan katta bo'lishi mumkin emas. Hisob-kitoblar shuni ko'rsatdiki, Quyosh sistemasi yuzaga kelishi uchun Quyosh va boshqa yulduz 5000 km/s tezlik bilan uchrashishi kerak, lekin bu tezlik Galaktikamizdagi parabolik tezlikdan (300 km/s) ancha katta. Galaktikamizda parabolik tezlikdan katta tezlikdagi yulduzlar juda kam.

spektral analiz shuni ko'rsatadiki, Quyoshda litiy va deyteriy elementlari Yerdagiga nisbatan ancha kam. Ma'lumki, litiy va deyteriy yadro reaksiyasi natijasida «yonadi» va agar bu elementlar sayyoralarda ko'p ekan, demak, sayyora moddasi Quyoshdan unda yadro reaksiyasi boshlanishidan avval ajralib chiqqan. Va nihoyat, Quyoshdan ajralgan gaz kondensasiyalanishi masalasi haqida. Bu gaz temperaturasi bir qancha yuz ming gradus darajasida katta bo'lishi kerak. Quyosh ichidagi bosim uning yuqori qismidagi qatlam og'irligi bilan muvozanatda bo'ladi, agar gaz shunday temperaturada tashqariga ajralib chiqsa, u tezda tarqab ketadi, qachonki, agar u tezda sovimasa. Ajralgan gazning uchib chiqishi uchun bir qancha soatlar ketsa, uning sovishi uchun esa bir qancha oylar kerak bo'lishini hisoblashlar ko'rsatdi.

§2.3. Yulduzlar kosmogoniyasi

Yulduzlar proto yulduz siqilib borib termoyadro reaksiyasi boshlanishiga qadar ular nisbatan sovuq bo'lib...diagrammasining o'ng tomonida qanchalik yuqoriroq bo'lishi esa uning boshlang'ich massasiga bog'liq. Proto yulduz siqilib...bu diagrammada uning evolyusiyasi o'ziga yarasha trek (iz) chizib boradi va termoyadro boshlanishi natijasida biror ketma-ketlikka o'tirishga ulguradi. Qaysi biriga o'tirish uning massasiga bog'liq. Agar u birdan portlamasa uning evolyusiya treki Ushbu ketma-ketlik bo'ylab chapdan o'ngga qarab sodir bo'ladi. Yulduzlar endi tug'ilganda

ular massasi $0,08 M_{\odot}$ dan $62 M_{\odot}$ gacha bo'lishi mumkin, bundan kattalari albatta tug'ilishi bilan portlashga majbur bo'ladi va turg'un holda uzoq yasholmaydi. Agar tug'ilgan yulduzlarning massasi Yupiter massasidan katta, lekin $0,08 M_{\odot}$ dan kichik bo'lsa ularda (jigarrang yulduzlar bo'ladi), termoyadro reaksiyasi vujudga kelolmay, Xech qachon sayyoraga aylanmaydi, lekin temperaturasi bir necha ming gradus Kelvin bo'lib infraqizil diapozonda yaxshi kuzatiladi. Bunday jigarrang yulduzlar galaktikamiz tojida son sanoqsizdir.

Bosh ketma-ketlikda joylashgan yulduzlar uzoq vaqt davomida termoyadro reaksiya natijasida nurlanadi; ularning radiusi, yorqinligi va massasi deyarli o'zgarmasdan qoladi. Bosh ketma-ketlikda yulduzlarning o'rnini ularning massasiga qarab aniqlanadi. spektr-yorqinlik diagrammasida bosh ketma-ketlikdan pastdagi yulduzlar (subkarliklar ketma-ketligi) ximiyaviy tarkibi bilan farq qidadi: subkarliklarda og'ir elementlar ulushi o'nlab marta kam.

termoyadro reaksiyalari natijasida yulduzlar yadrosidagi jarayonlar vodorodning Geliyga aylanishi yoki boshqacha aytganda, vodorodning «yonishi» bilan ro'y Beradi. Bosh ketma ketlikda bo'lish vaqti termoyadro reaksiyalari tezligiga, reaksiya tezligi esa temperaturaga bog'liq. Yulduzning massasi qanchalik katta bo'lsa, uning markazidagi temperatura shunchalik yuqori bo'lishi kerak, sababi gazning bosimi yuqori qismidagi hamma qatlamlarni muvozanatga keltirishi kerak. shuning uchun yadro reaksiyalari massiv yulduzlarda tez boradi va bosh ketma ketlik kelish vaqti uzoq davom etadi. Hisoblashlardan V0 tipidagi yulduzlarning bosh ketma ketlikka kelish vaqti 10^7 yil, Quyosh va undan keyingi spektral tipga kiruvchi yulduzlarniki 10^{10} yil ekanligi aniqlangan.

Yadro reaksiyalari yulduzlarning faqat markaziy qismida boradi. Bu sohada (yulduzlarning konvektiv yadrosi) modda hamma vaqt aralashishda bo'ladi. Vodorod yonishida yulduzning konvektiv yadrosi radiusi iva massasi kichiklashadi. Hisoblashlar ko'rsatadiki, yulduz bu vaqtda diagramma bo'ylab o'ngga qayriladi. Massiv yulduzlar tezroq qorishadi va natijada bosh ketma ketlikning o'ng qismi asta sekin o'ngga siljiydi.

Yulduz markazidagi hamma vodorod geliyga aylangandan keyin, evolyusiyaning ikkinchi bosqichi tugaydi. Vodorodning geliyga aylanish reaksiyasi faqat yadroning

tashqi qismida boradi. Bu vaqtda yadro siqiladi, yulduzning markaziy sohadasi zichlik va temperatura ko'tariladi, yulduzning yorqinligi va radiusi oshadi. Yulduz bosh ketma ketlikka yetib keladi va qizil gigantga aylanadi, evolyusiyaning uchinchi bosqichi boshlanadi.

Yuqorida gapirilganlarning hammasi yulduz ichki tuzilishini o'rganishning nazariy ishlaridan kelib chiqadi. Bu natijalarni yulduzlar to'dalarining spektr-yorqinlik diagrammasini o'rgangan holda ham tekshirib ko'rish mumkin. Faraz qilaylik, yulduz va to'da bir vaqtda paydo bo'lgan va bir xil yoshga ega. 246 rasmda 11 ta to'da uchun rang-yorqinlik diagrammasi keltirilgan. Ulardan ikkitasi, M3 va M92 sharsimon to'dadir. Ko'rinib turibdiki, bosh ketma ketlik o'ng tomonga qayrilgan va har bir to'da uchun har xil. Tushunarliki, to'da qanchalik katta qayrilishga ega bo'lsa, shunchalik qari hisoblanadi. Bu diagrammadan qaysi to'da oldin va qaysinisi keyin paydo bo'lganligini va ularning taxminan yoshini osongina aniqlash mumkin. Buning uchun diagrammada bosh ketma ketlikdan ketgan yulduzlarning tipini bilishimiz kerak. NGC 2362 to'dasi eng yoshdir, uning yoshi bir necha dasi eng yoshdir, uning yoshi bir necha o'n million yilga teng. sharsimon to'dalarda bosh ketma ketlik sal ko'rinadi. Yuqori qismi yulduzlar evolyusiyaning ikkinchi bosqichidan o'tib bo'lganligi sababli, pastki qismi esa xira yulduzlarni kuzatish mumkin bo'lmaganligi sababli ko'rinmaydi. Lekin sharsimon va qari to'dalarda qizil gigantlar tarmog'i yaxshi ko'rinadi. Bu esa ulardagi ko'pchilik yulduzlar evolyusiyaning uchinchi bosqichida ekanligini bildiradi.

Tarqoq to'dalarda qizil gigantlar sharsimon to'dalarnikiga nisbatan pastga, bosh ketma ketlik esa yuqoriga qarab ketadi. Bu nazariy yo'l bilan sharsimon to'dalarda og'ir elementlar kamligi bilan tushuntirish mumkin. Haqiqatan, sharsimon to'dalarda yotuvchi sferik tashkil etuvchi yulduzlarda og'ir elementlar ulushi tekislik tashkil etuvchi yulduzlarga nisbatan kamroq ekanligini kuzatuvlar ko'rsatadi. shunday qilib, nazariya yulduzlarning evolyusiyasi haqida kuzatuvlar bilan ustma ust tushadi va ularni tasdiqlaydi.

Qizil gigant (yoki o'tagigant) lar bosqichida yulduzning zich yadrosida biror vaqt oraliq'ida Geliyning uglerodga aylanish reaksiyasi borishi mumkinligi taxmin qilinadi. Buning uchun yulduzning markaziy qismida temperatura $1,5 \cdot 10^8$ K bo'lishi kerak.

Bunday yulduzlar spektr-yorqinlik diagrammasida qizil gigantlar tarmog'ining chap qismida bo'lishilagini hisoblashlar ko'rsatadi. Yadroda geliy reaksiyalari va vodorod reaksiyalari uning chegaralarida bo'lganda, uchinchi bosqich oxiriga yetgan hisoblanadi. Bu paytda ko'lam qobiq kengayadi, uning tashqi qatlamlari tortishish kuchi ta'sirida ushlanib turmasligi mumkin va u ajralishni boshlaydi. Yulduz moddasini yo'qotadi va uning massasi kamayadi. Qizil gigantlar yoki o'tagigantlar atmosferasidan haqiqatan ham, modda oqib chiqishi kuzatuvlardan ko'rinadi. Bu paytda jarayon sekin ketadi. Ayrim hollarda yulduz tezda massasining bir qismini yo'qotishi mumkin va jarayon portlash xarakteriga ega bo'ladi. Bunday jarayonni biz o'tayangi yulduzning portlashida ko'rishimiz mumkin[7].

Qizil gigantlardan modda sekin oqib chiqqanda, planetar tumanlik qosil bo'ladi. Yulduzning qobig'i kengayganda uning markazida faqat vodorod to'la yadro qoladi. Yulduzning massasi 2-3 Quyosh massasidan oshmasa, yadro xuddi oq kaliklarniki singari uyg'ongan holatda bo'ladi. shuning uchun oq karliklar evolyusiyaning to'rtinchi (ya'ni oxirgi) bosqichi deb hisoblanadi. shuning uchun ham, qari to'dalarning tarkibida bir necha oq karliklar bo'ladi, yosh to'dalarda esa ular uchramaydi. Biz bilamizki, oq karliklarda yadro reaksiyalari bormaydi, ular oldingi bosqichlarda to'plangan issiqlik energiyasi zaxirasi hisobiga nurlanadi. Ular asta sekin soviy boshlaydi va ko'rinmaydigan "qora" karliklaoga aylanadi. Oq karliklar – bular soviydigan, umrining oxiridagi yulduzlardir. Quyosh massasidan bir necha marta katta bo'lgan yulduzlar oq karlik fazasidan o'tmaydilar, sababi ularning Geliyli yadrosi uyg'ongan holatga tushmaydi. Bu holda uchinchi bosqich neytron yulduzlarning paydo bo'lishi yoki o'ta yangi yulduzlarning portlashi bilan tugaydi.

Shunday qilib, biz yulduzlarning evolyusiyasining umumiy manzarasini, zich gaz va chang bulutidan siqiluvchan protoyulduzga, keyin bosh ketma ketlikning oddiy yulduzi orqali qizil gigantga va nixoyat, oq karlika aylanishini ko'rib chiqdik. Bu manzarada hali ko'p narsaga oydinlik kiritilmagan.

Biz yuqorida yulduzning evolyusiyasi jarayonida uning massasi, radiusi, temperaturasi qanday o'zgarishini qaradik, lekin uning aylanishi haqida hych narsa gapirmadik. Ma'lumki, O, V, A spektral sinfiga kiruvchi yulduzlar juda tez, 100 km/sek

dan ham katta tezlik bilan aylanadilar. F sinfiga kiruvchi yulduzlar 100 km/sek dan kichik, F sinfdan keyingi sovuq yulduzlar shunday kichik tezlik bilan aylanadilarki, ularning tezligini Dopler siljishidan aniqlab bo'lmaydi. G, K, M sinflariga kiruvchi bosh ketma ketlikda joylashgan yulduzlarning aylanish tezligi bir necha o'n km/sek ga teng, lekin haqiqatda undan ham bo'lishi mumkin. Masalan, G sinfining tipik yulduzi Quyosh 2 km/sek tezlik bilan aylanadi.

Diffuz tumanliklarni kuzatishlardan, alohida moddalarning bir biriga nisbatan harakati 1 km/sek ligi kelib chiqadi. Shuning uchun yulduz paydo bo'ladigan boshlang'ich tumanlik har doim qandaydir harakat miqdori momentiga ega bo'lishi kerak.

Quyosh sistemasida 98 % i harakatlar miqdori momenti sayyoralar va 2 % i Quyoshga to'g'ri keladi. Agar Quyosh sistemasining butun harakatlar miqdori momenti Quyoshga to'g'ri kelganida u 100 km/sek tezlik bilan aylangan bo'lar edi. Bundan, Quyosh sistemasiga o'xshash sovuq yulduzlarning sekin aylanishi ularda sayyoralar bo'lishi mumkinligidan dalolat Beradi. Agarda shunday bo'lsa, unda Galaktikada sayyoralar sistemalari soni judayam ko'pchilikni tashkil etishi kerak.

§2.4. Galaktikalar vujudga kelishi

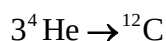
Galaktikalar koinotning «g'ishtlari» hisoblanadi, shu sababli ularning qanday yuzaga kelgani va rivojlanish bosqichlari masalasi astrofizikaning hozirgi kundagi dolzarb muammolaridan biridir. Galaktikalar vujudga kelish nazariyasida ikkita bir-biriga qarama-qarshi bo'lgan ssenariyalar mavjud: 1) Koinot evolyusiyasining boshlang'ich bosqichida avval galaktikalar protoo'tato'dalari shakllangan va ular asta-sekin yuzaga kelgan gravitasion Beqarorlik natijasida bosqichma-bosqich bo'laklarga (fragmentasiyalarga) bo'linib borib, protogalaktikalar yuzaga kelgan va ulardan oqibat natijada galaktikalar vujudga kelgan; 2) Koinotda avval yulduzlar sharsimon to'dalarining protobulutlari paydo bo'lgan va ular asta-sekin birlashib protogalaktikalarni, ular zaminida esa galaktikalar yuzaga kelgan[9].

Uzoq yillar davomida, aniqrog'i 80-yillarga qadar elliptik galaktikalar asosan asta siqilayotgan protogalaktikaning o'z o'qi atrofida aylanish tezligi oshib borishi tufayli vujudga kelgan deb tushunilgan. Hususan, Gott-III elektron hisoblash mashinasida qator

sonli tajribalar o'tkazilib, yuqoridagi siqilish jarayoni natijasida elliptik galaktikalar vujudga kelishi mumkinligini nazariy tasdiqlangan. Bu usul bilan u Ye1 – Ye5 elliptik galaktikalarning vujudga kelishini ko'rsatib bergan. Biroq 80 – yillariga kelib elliptik galaktikalarning o'z o'qlari atrofida aylanish qiymatlari kuzatuvlarga ko'ra xaddan tashqari kichik ekani aniqlandi. Bu qiymatlar nazariyadagi natijalardan ancha uzoq ekani ma'lum bo'lib chikdi. Keyinchalik kuzatuvchi-astrofiziklar elliptik galaktikalarning yanada murakkab modellarini tuzish maksadida ularning aylanish chizig'i, zichlik va ravshanlik taksimotlari kabi funksiyalarni kuzatuvlardan topa boshlab, modellashtirish muammolarini ancha chuqur hal qilishdi.

Bu davrda parallel ravishda qator nazariy ishlar ham bajarildi. Hususan, D.Linden-Bell elliptik galaktikalarning regulyar yorqinligini ular evolyusiyasining boshlang'ich davridagi nostasionar va o'ta aktiv kollektiv relaksasiya jarayoni bilan tushuntirib berdi.

Galaktikamizda yulduzlararo muhit va yulduzlar moddasining umumiy mikdorilari nisbati vaqt o'tishi bilan o'zgarib turadi, chunki yulduzlararo diffuz muhitda yulduzlar paydo bo'ladi va ular o'zlarining evolyusiyalari oxirida oq karliklar hamda Neytron yulduzlarga aylanishlari natijasida ma'lum bir qismlarini yana yulduzlararo muhitga chiqazib yuboradilar. shu yo'sinda Galaktikamizdagi yulduzlararo muhit miqdori vaqt o'tishi bilan kamayib borishi kerak. Xuddi shunday hol boshqa galaktikalarda ham kuzatiladi. Yulduzlar qarida modda qayta ishlanishi natijasida Galaktikamiz geliy va og'ir elementlar bilan boyib borgan, buning oqibatida uning kimyoviy tarkibi vaqt o'tishi bilan o'zgarib boradi. Galaktika asosan vodorod gazidan iborat bulutdan yuzaga kelgan deb taxmin qilinadi. Hattoki, bu bulutda vodorodan tashqari boshqa element bo'lmagan deb ham fikr yuritiladi. shunday qilib, geliy va og'ir elementlar yulduzlar markazidagi termoyadro reaksiyasi natijasida yuzaga keladi. Og'ir elementlar yuzaga kelishi uchlangan geliy reaksiyasida boshlanadi:



Keyinchalik C^{12} proton, Neytron va α -zarrachalari bilan birlashishi natijasida yanada murakkab yadrolar yuzaga kela boshlagan. Biroq bunday uzluksiz ortib borish nazariyasi orqali uran va toriy kabi juda og'ir yadrolarning vujudga kelishini

tushuntirish mumkin emas. Bunda keyingi nuklonni egallashga ulgurishdan ko'ra tezroq parchalanuvchi radioaktiv izotoplarining Beqarorlik bosqichida bo'lishligini e'tiborga olmaslik mumkin emas. shu sababli, Mendeleyev jadvalining oxirida joylashgan og'ir elementlar o'ta yangi yulduzlarning chaqnashi vaqtida yuzaga kela boshlaydi deb taxmin qilinadi. Bunday o'ta yangi yulduzlar chaqnashlari ularning tez siqilishi natijasida ro'y beradi. Bunda temperatura Benixoya oshib ketadi, siqilayotgan atmosferada termoyadro reaksiyasi zanjiri vujudga kelib, uning oqibatida kuchli neytron oqimi hosil bo'ladi. Neytron oqimining intensivligi shu qadar kuchli bo'lishi mumkinki, bunda oraliq beqaror yadrolar bo'linishga ulgura olmay, yangi neytronlarni o'zlariga olib barqaror bo'lib qoladilar.

Galaktika sferik tashkil etuvchi qismidagiga nisbatan tekislik tashkil etuvchisidagi yulduzlar og'ir elementlarga boy bo'ladi, chunki sferik tashkil etuvchi qismdagi yulduzlar Galaktika evolyusiyasining boshlang'ich bosqichida, ya'ni yulduzlararo gaz hali og'ir elementlarga kambag'al vaktida shakllanadilar. Bu vaktida yulduzlararo gaz asosan sferik bulut ko'rinishida bo'lgan va markaziga qarab konsentrasiya oshib borgan. Bunda sferik tashkil etuvchi qismda vujudga kelgan yulduzlar ham shunday taqsimotni saqlab qolgan.

Yulduzlararo gaz bulutlarining to'qnashishi natijasida ularning tezliklari asta-sekin kamayib borgan, kinetik energiya issiklik energiyasiga aylangan hamda gaz bulutining umumiy shakli va o'lchamlari vaqt o'tishi bilan o'zgarib borgan. Hisoblashlar ko'rsatadiki, tez aylanuvchi bunday bulut bizning Galaktikada kuzatiladigan yassi disk shaklini olishi kerak. shu sababli, nisbatan kechroq yuzaga kelgan yulduzlar tekislik tashkil etuvchi qismni hosil qilgan. Bu vaktga kelib, yulduzlararo gaz tekislik shaklidagi disk ko'rinishini olgan va u yulduzlar qa'rida qayta ishlanishdan o'tgani natijasida nisbatan og'ir elementlarni o'zida mujassamlagan. shu sababli tekislik tashkil etuvchi qismidagi yulduzlar ham og'ir elementlarga boy bo'lgan. Ko'pincha tekislik tashkil etuvchi qismdagi yulduzlar ikkinchi avlod, sferik tashkil etuvchi qismdagilar esa birinchi avlod yulduzlari deb ataladi va bu bilan tekisliklik tashkil etuvchidagilar boshlang'ich yulduzlar qa'rida bo'lib chiqqan moddadan yuzaga kelgan degan fikrga ishora qilinadi.

Boshqa spiral galaktikalarda ham rivojlanish etapi xuddi shunday ro'y bergan deyish mumkin. Yulduzlararo gaz mujassamlashgan spiral tarmoqlar shakli galaktika umumiy magnit maydon kuch chiziqlari yo'nalishidan aniklanadi. Yulduzlararo gaz "yopishgan" magnit maydon eguluvchanligi gaz diskining yupqalanishini chegaralaydi. Agar yulduzlararo gazga faqat og'irlik kuchi ta'sir etganda edi, uning sikilishi cheksiz davom etgan bo'lardi. Bunda katta zichlik hisobiga yulduzlararo gaz tez yulduzlarda yig'ilib qolmagan bo'lar edi. Yulduzlarning vujudga kelish tezligi yulduzlararo gaz zichligi kvadratiga taxminan proporsional bo'ladi.

Agar galaktika sekin aylansa, u holda yulduzlararo gaz og'irlik kuchi ta'sirida markazga yig'iladi. Aftidan, bunday galaktikalarda magnit maydoni tez aylanuvchi galaktikalaridagiga nisbatan kuchsiz bo'lib, yulduzlararo gazning siqilishiga kam qarshilik ko'rsatadi. Markaziy oblastlardagi katta zichlik tufayli yulduzlararo gaz yulduzlarga aylanib sarflanib ketadi. Natijada sekin aylanuvchi galaktikalar taxminan markazga tomon yulduzlar zichligi tez o'sib boruvchi sfera ko'rinishini olishlari kerak. Bizga ma'lumki, xuddi shunday xususiyatga elliptik galaktikalar ega. Ularning spiral galaktikalardan farqi ham aylanish tezliklari kichikligidadir. Yuqorida aytilganlardan ma'lum bo'ladiki, nima uchun elliptik galaktikalarda yulduzlararo gaz va yulduzlarning boshlang'ich sinflariga xos yulduzlar kam[6].

Shunday qilib, galaktikalarining vujudga kelishi taxminan sferik shakldagi gaz buluti bosqichidan boshlanadi. Bu bulut vodorod gazidan iborat bo'lib, u bir jinsli bo'lmagan. Gazning alohida bo'laklari harakatlanib, bir-birlari bilan to'qnashishlari natijasida kinetik energiyalarini yo'qotganlar va oqibatda bulutda siqilish jarayoniga olib kelgan. Agar bu bulutning aylanish tezligi katta bo'lsa spiral galaktika, aylanish tezligi kichik bo'lsa undan elliptik galaktika vujudga kelgan.

Bob III. Kosmologik prinsip va Koinot modellari

§3.1. Kosmologik prinsip. Koinot modellari

Kosmologiya uchun Koinotning yetarlicha katta fazo xajmidagi modda o'rtacha zichligining bir xil bo'lishi haqidagi g'oya ancha qo'l keladi. Moddaning o'rtacha zichligini bir xil deb hisoblash mumkin bo'lgan soha o'lchamlari Metagalaktikadan ancha kichik, lekin bu o'lcham yulduzlar, galaktikalar va ularning to'dalari mavjudligi bilan bog'liq maxalliy (lokal) nojinslilik o'lchamlariga nisbatan ancha katta.

Koinotda modda taqsimotini o'rtacha baholash uchun berilgan ko'rinma yulduz kattaligigacha kattalikka ega bo'lgan galaktikalarining sonini hisoblash orqali amalga oshirsa bo'ladi. Kuzatuvlarga asosan xira galaktikalar uchun $N(m+1)/N(m)$ munosabat 4 qiymatiga yaqin, undan tashqari, har xil yo'nalishda bu qiymatdan og'ish tasodifiy xarakterga ega. Bundan shu narsa kelib chiqadiki, o'rta hisobda hamma yo'nalishlar bo'yicha galaktikalar bir tekis taqsimlangan[2].

Kosmologiya nuqtai nazaridan, juda katta masshtablarda modda o'rtacha zichligining bir xilligi Koinotning bir jinslilik va izotropilik xususiyalaridan kelib chiqadi. Koinotdagi materiya xususiyatlari fazoning hamma yerida bir xil bo'lsa u bir jinsli, agar bu xususiyatlar barcha yo'nalishda bir xil bo'lsa izotrop bo'ladi. Boshqacha qilib aytganda, fazoning barcha nuqtalari va yo'nalishlari bir xil ahamiyatga ega. Izotropik xususiyatining mavjudligini kuzatuvda ham tasdiqlash mumkin, qaysiki hamma yo'nalishda galaktikalarining uzoqlashish qonuni bir xil.

Lekin aytish kerakki, yuqoridagi bu xususiyatlar ma'lum bir masshtabdan amalga oshadi, aniqrog'i bu o'lcham bizning davrimizga kelib 50-100 Mpk ga erishdi. Koinotning bir jinsliliigi va izotropiligi haqidagi fikr ko'pincha kosmologik prinsip deb ataladi.

Oldingi kosmologik tasavvurlar bir jinslilik bilan bir qatorda bizning olamimizning o'zgarmas yoki statistik ekanligi prinsipidan keltirib chiqazilgan. Bu xususiyatlarni cheksiz Yevklid fazosiga ilk bor tadbqiq qilinishi fotometrik va gravitasion paradokslarga olib kelgan.

Fotometrik paradoksni birinchi bo'lib Shveysariyalik olim J.Shezo 1744 yili, keyinchalik 1826 yili esa Germaniyalik G.Olberslar yoritib Berishgan. Unga asosan,

agar cheksiz fazo yulduzlar bilan bir tekis egallangan bo'lsa, u holda ixtiyoriy ko'rish nuri yo'nalishi ertami, kechmi qandaydir yulduz bilan kesishadi. Obektning kuzatilayotgan ravshanligi ungacha bo'lgan masofaga bog'liq bo'lmaganligi uchun butun osmon xuddi Quyosh diski kabi bir tekis nur sochadi. Yulduzlararo nurning yutilishi bu paradoksni yo'qqa chiqaza olmaydi, chunki yutilgan nur ertami, kechmi fazoga qayta nurlanadi. Uzoqlashayotgan obyektga qizilga siljish xodisasi kuzatilishi tufayli uning yorug'lik energiyasining kamayishini hisobga olsak, fotometrik paradoks xodisasi ro'y Bermaydi. Bundan tashqari, kuzatish mumkin bo'lgan fazo hajmi *Koinotdagi ko'rish gorizonti* bilan chegaralangan va bu xajm chekli bo'ladi. Ko'rish gorizonti ostida shunday sferani ko'z oldimizga keltiramizki, undagi har bir nuqta kuzatuvchidan ma'lum masofada bo'lib, bu masofani nur kengayuvchi Koinotning yuzaga kelish vaqti davomida bosib o'tgan.

Gravitasion paradoks Germaniyalik olim X.Zeeliger tomonidan 1895 y. bayon etilgan. Uning ta'rifiga ko'ra, modda bir tekis taqsimlangan cheksiz Koinotda Nyuton qonunidan foydalanib berilgan nuqtaga ta'sir qilayotgan gravitasion kuchni bir qiymatli hisoblab bo'lmaydi. Ya'ni masalan, agar bu kuchni shu nuqtadagi massaga ta'sir etuvchi kuchlarning yig'indisi ko'rinishida aniqlasak, qaysiki bu kuchlarni shu nuqta markazli konsentrik qatlamlar hosil qilayotgan bo'lsa, unda natijaviy kuch nulgga teng. Agar hisoblashni markazi bu nuqtadan r masofada bo'lgan konsentrik qatlamlar uchun olib borilsa, unda natijaviy kuch r radiusli shar sirtida joylashgan nuqtani tortayotgan kuchga teng bo'ladi.

Gravitasion paradoksning yuzaga kelishiga sabab, Yevklid fazosida bir onda tarqaluvchi tortishish kuchi haqidagi Nyutonning tortishish nazariyasini cheksiz Koinotga qo'llab bo'lmasligidadir. shuning uchun, kosmologiyada Metagalaktikaning katta masshtablari o'rganilayotganda Eynshteyn tomonidan 1916 yili asoslari ishlab chiqilgan nisbiylik umumiy nazariyalaridan (NUN) foydalanish kerak.

Mexanika qonunlari NUN da ancha umumiy ko'rinishda ifodalanadi, Nyuton qonunlari esa kuchsiz gravitasion maydon chegaraviy holida ulardan hosil qilinadi. Gravitasion paradoks NUN da bo'lmaydi. Bu nazariyaning yuzaga kelishi kosmologiyani zamonaviy rivojlanish bosqichiga ko'tardi. Asosiy kosmologik

tenglamalar Eynshteynning o'zi tomonidan keltirib chiqazilib, ular statistik Koinot xususiy holi uchun yechilgan. Keyinchalik 1922 yili Rossiyalik buyuk matematik Fridman tomonidan nisbatan umumiy holda ham yechimlar topilgan. Lekin keyinchalik ma'lum bo'ldiki, Nyuton tenglamalari asosida ham qator muhim kosmologik natijalar olish mumkin ekan. Bu imkoniyat katta uslubiy axamiyatga ega, chunki zamonaviy kosmologiya natijalarini to'liq tushunish uchun kerak bo'ladigan NUN matematik apparatiga erushgunimizga qadar yuqoridagi imkoniyat orqali biz murakkab kosmologik muammolarga yaqinlashamiz mumkin[12].

Modellashtirish tabiatning murakkab obyektlarini tadqiq etishda muhim usul hisoblanadi. Umuman olganda biz yuqoridagi boblarda bunday usuldan bir necha bor foydalandik, bunda biz real obyektни soddalashtirilgan matematik sxema bilan almashtirdik. Bu sxemada ba'zi elementlar ilgaridan (kuzatuvdan) ma'lum deb, qolganlari nazariy fizika va matematika usullarini qo'llash yordamida topiladi. Bu ishda eng muhim natijalovchi bosqich sifatida nazariy topilgan model xususiyatlarini biz foydalangan nazariyada qilingan chegaralanishlar va taxminlarni hisobga olgan holda real obyektga o'tkazish hisoblanadi.

Biz bir jinsli izotrop Koinot modelini qaraymiz, bunda Nyuton qonunlari yordamida jismlarning o'zaro ta'siri kuchlari ifodalanib, bu kuchlar boshqa hyech qanday kuchlar bilan to'liq muvozanatda bo'la olmaydi va modda harakatining xarakterini aniqlashda muhim hisoblanadi.

Binobarin Nyuton qonunlarini faqat chekli massalarga qo'llash mumkinligi avvaldan ma'lum, shu sababli bizning model juda katta, lekin Koinotning chekli massali chekli qismiga tegishlidir. Ma'lumki, bunday massa bo'laklari orasidagi o'zaro tortishish kuchi mavjudligi tufayli siqilishi, yoki u shunday kinetik energiya zapasiga egaki, natijada kengayishi kerak. Bu kengayish esa bo'laklar orasidagi tortishish kuchi tufayli vaqt o'tishi bilan tormozlanadi.

Ko'rsatish mumkinki, bir jinsli izotrop Koinotda Xabbl qonuni o'rinli. Aniqlashtirish uchun kengayuvchi Koinot modelini qaraymiz. Fazoda boshlang'ich vaqt bir – biridan r masofada bo'lgan ixtiyoriy ikkita A va V nuqtalar $V = \Delta r / \Delta t$ tezlik bilan o'zaro uzoqlashayotgan bo'lsin. AV masofani r – birlik intervallarga bo'lamiz. Bu

intervallardan har biri Δt vaqt davomida bir jinslilik xususiyatiga ko'ra bir hil $\Delta r/r$ qiymatiga oshadi. shuning uchun birlik intervalning oshish tezligi $\frac{1}{r}\left(\frac{\Delta r}{\Delta t}\right)$ qiymatni tashkil etadi. Bu qiymat fazoning hamma yerda va hamma yo'nalishida bir xil bo'lganligidan va faqat vaqtga bog'liqligidan uni $H(t)$ deb belgilaymiz. Bundan Xabbl qonunini hosil qilamiz:

$$v = \frac{\Delta r}{\Delta t} = r \left(\frac{1}{r} \cdot \frac{\Delta r}{\Delta t} \right) = rH, \quad (3.1)$$

bu yerda H – shu kundagi $H(t)$ ning qiymati. Agar $H=0$ bo'lsa, kengayish bo'lmaydi (statistik model). Lekin ma'lumki, bu xolat Beqarordir, ya'ni modda massasi boshqa kuchlar bo'lmaganda o'zining xususiy tortishish maydonida kinetik va potensial energiyalar nisbatining qiymatiga bog'liq holda kengayishi yoki siqilishi kerak.

Endi esa markazi fazoning Berilgan nuqtasida bo'lgan ixtiyoriy r – radiusli sferani qaraymiz. Fazoning bir jinslilik va izotroplik xususiyatiga ko'ra, bu sferaning hamma nuqtalari markazdan bir xil tezlik bilan uzoqlashadi va uning radiusi vakt o'tishi bilan qandaydir vaqtga bog'liq bo'lgan funksiyaga proporsional holda kattalashib boradi, ya'ni

$$r(t) = rR(t). \quad (3.2)$$

$R(t)$ funksiyaga masshtab faktori deyiladi va u koinotning kengayishini xarakterlaydi.

r – radiusli sfera ichidagi massa hamma yerda bir xil qiymatga ega bo'lgan zichlik orqali quyidagiga teng:

$$m = \frac{4}{3} \pi \rho r^3 \quad (3.3)$$

Qaralayotgan soha chegarasida joylashgan birlik massa ega bo'lgan kinetik energiyaga $v^2/2$ ga va potensial energiya $-\frac{Gm}{r}$ ga teng. Energiyaning saqlanish qonuniga ko'ra ularning yig'indisi o'zgarmasdir:

$$\frac{1}{2} v^2 + \left(-G \frac{m}{r} \right) = E \quad (3.4)$$

Agar to'liq energiya nuldan kata bo'lsa ($Y_e > 0$), u holda kengayish tezligi r ning biror qiymatida nul qiymatigacha kamaymaydi. O'zgarmas qiymatli sekinlashish bilan kengayish prosessi cheksiz davom etadi. $R(t)$ masshtab faktori esa hamma vaqt o'sib boradi. Aksincha, $Y_e < 0$ holida vaqt o'tishi bilan kengayish tezligi nul qiymatigacha kamayib borib, kengayish prosessi siqilishga o'tadi. $V=0$ bo'lganda masshtab faktori eng kata qiymatga erishadi va shundan keyin u kamayuvchi funksiya bo'lib qoladi. Bu chegaraviy hollar orasida shunday muhim oraliq holat mavjudki, bunda $Y_e=0$ bo'lib, kengayish chegaralmagan davom etib, uning tezligi nul qiymatiga intiladi. (4) formuladan ko'rinib turibdiki, bu holda kengayish tezligi parabolik tezlikka mos keladi:

$$V_n = \sqrt{2mG/r} \quad (3.5)$$

Bu formuladagi tezlik o'rniga Xabbl qonunidagi ifodasini va massa o'rniga (3) formulani qo'ysak, quyidagi zichlikka ega bo'lamiz:

$$\rho_0 = \frac{3H^2}{8\pi g} \quad (3.6)$$

Ko'rinib turibdiki, bu zichlik r radiusga bog'liq emas. Demak aytish mumkinki, hosil qilingan natija ixtiyoriy katta masshtablar uchun ham o'rinli. $Y_e=0$ holida, ya'ni to'liq energiyaning nulinchi qiymatiga mos keluvchi zichlikka kritik zichlik deb olamiz, chunki bu kritik qiymatdan katta va kichik holiga to'g'ri keluvchi Koinotning o'rtacha zichligida yuqorida qaralgan Berk va chegaralanmagan kengayuvchi Koinot namoyon bo'ladi.

Agar $H=75 \text{ km}/(\text{s}\cdot\text{Mpk})$ deb olsak, Koinotning hozirgi vaqtdagi zichligi uchun kritik qiymat taxminan $10^{-29} \text{ g}/\text{cm}^3$ ni tashkil etadi. Metagalaktikadagi ma'lum bo'lgan hamma massalarni hisobga olgan holda topilgan zichlik $10^{-30} \text{ g}/\text{cm}^3$ qiymatiga teng bo'lib, u kritik qiymatdan kichik. Lekin bu quyi chegara, chunki galaktikalararo muhit hali uncha aniq emas. Agar bu muhit massasi nisbatan katta bo'lsa, unda ma'lum vaqtdan boshlab Koinotning kengayish prosessi siqilish bilan almashinishi mumkin[13].

Koinotdagi moddaning o'rtacha zichligini aniqlashda nuldan farqli massaga ega bo'luvchi tinchlikdagi Neytrinoni ham hisobga olish kerak bo'ladi. 1980 yillarda olib borilgan eksperimentlarning natijasiga ko'ra tinchlikdagi neytrino massasi 10^{-32} g ekanligi taxmin qilinadi, bu esa elektron massasidan 20 000 marta kichikligini

ko'rsatadi, lekin bu qiymatni yanada aniqlashtirish kerak. Koinotda juda ko'p miqdorda neytrino bo'lishi kerak, asosan reliktik, ya'ni uning kengayishining boshlang'ich bosqichidan qolgan. Nazariy hisob-kitoblarga ko'ra bitta protonga o'rta hisobda taxminan milliard neytrino to'g'ri keladi. shuning uchun agar yuqoridagi baholash to'g'ri bo'lsa, u holda neytrino umumiy massasi oddiy modda massasidan 30 marta katta chiqadi. shunday qilib, aynan neytrino bizning fazomizning fizik xususiyatlarini aniqlashi haqiqatdan xoli emas.

Endi Xabbl doimiysining fizik ma'nosini qaraymiz. U chastota o'lchamiga ega bo'lib, unga teskari bo'lgan kattalik vaqt o'lchamida va qiymati $t = 4 \cdot 10^{17} \text{ c} = 13 \cdot 10^9 \text{ yilga}$ teng (agar $H=75 \text{ km/(s}\cdot\text{Mpk)}$ deb olsak). Kengayish tezligi ilgari o'zgarmagan deb faraz qilinsa, bu vaqt Metagalaktikaning kengayishi natijasida hozirgi holatiga erishishi uchun ketgan davrdir. Kuzatuvlar xatoligi chegarasida bu vaqt oralig'i ko'pgina galaktikalar yoshiga va Galaktikamizdagi qari yulduzlarning ular spektri va tarkibini o'rganish asosida topilgan yoshlariga mos keladi. Bundan shu narsa kelib chiqadiki, ko'pgina galaktikalar Koinot kengayishining juda boshlang'ich bosqichida paydo bo'lgan va bu birinchi milliard yilda bo'lib, bu vaqtda moddaning o'rtacha zichligi hozirgidan ancha katta bo'lgan.

Shunday qilib, klassik fizika doirasida biz Koinotning qator muhim xossalarini aniqlashga erishdik: nostasionarlik, kengayish va siqilishning mumkin bo'lgan holati, kritik zichlik qiymati, kengayish vaqti (Koinot «yoshi»). Koinotning aniq real xossalari, xususan, hozirda Koinotning kengayish xususiyati kuzatuvda tasdig'ini topishi kerak. Kelajakda qanday nostasionarlik xususiyati namayon bo'ladi, bu bizga ma'lum emas. Keyinchalik kengayish siqilish jarayoni bilan almashishi mumkinligi haqiqatdan xoli emas. Avvalambor shuni aytish kerakki, oldin Koinotdagi modda ancha zich holatda bo'lgan deb aytish mumkin. shu narsani alohida hisobga olishimiz kerakki, biz chiqazgan xulosalar klassik maxanikaga asoslangan, shuning uchun ular shunday o'lmamlarda o'rinliki, bunda kengayish tezligi yorug'lik tezligidan ancha kichikdir. Bunday chegaralarni qo'ymaslik uchun biz fizikaning yanada aniqroq qonunlaridan, avvalambor, NUN qonunlaridan foydalanishimiz kerak.

Agar kuzatuv ma'lumotlarini olsak undan galaktikalar to'dalari va o'ta to'dalari

Metagalaktikada bir xil taqsimlangan va izotropdir. Metagalaktika bu hozirga kunda eng zamonaviy teleskoplar bilan kuzatish mumkin bo'lgan chegaradagi koinot tushuniladi. Hozirgi kunda koinotning 3 ta modeli mavjud:

- 1.Yopiq koinot modeli.
- 2.Ochiq koinot modeli.
- 3.Kengayuvchi koinot modeli.

Birinchi koinot modelini sovet matematigi Fridman.A. bir jinsli va izotrop bo'lgan holda o'rgangan. U bir jinsli izotrop koinot nostasionar bo'lishini va undan galaktikalar tarqalishini ko'rsatgan. Bu modelga ko'ra ixtiyoriy 2 ta obyekt orasidagi masofa t vaqt momentida

$$r(t)=r_0 R(t)$$

bo'yicha o'zgaradi. Bu yerda r_0 –boshlang'ich vaqt momentidagi obyektlar orasidagi masofa.

$R(t)$ -masshtab faktorii deyiladi va u koinotning kengayishini xarakterlaydi.

Xabll qonuniga ko'ra tezlikning o'zgarishi

$$v(t)=H(t)r(t)$$

qonuniyatga bo'ysunadi.

Bu holda koinotning o'rtacha zichligi quyidagi formula Bilan aniqlanadi va bu zichlik kritik zichlik deyiladi.

$$\rho=\frac{3H^2}{8\pi G}$$

Agar koinotdagi zichlik ρ , kritik zichlikdan kata bo'lsa ,ya'ni $\rho>\rho_{kr}$, bu holda koinotning geometrik xususiyatlari sferik geometriya Bilan aniqlanadi. Agar koinotning zichligi kritik zichlikka teng bo'lsa $\rho=\rho_{kr}$ u holda koinotning kengayishi cheksiz davom etadi, agar kichkina bo'lsa $\rho<\rho_{kr}$ bu koinotning ochiq modeli deb yuritiladi. Agar Xabll doimiysini $H=50\text{km/sek}\cdot\text{mgp}$ deb olsak

$$\rho_{kr}=5\cdot 10^{-30}\text{ gr/sm}^3$$

kelib chiqadi. Metagalaktikadagi yulduzlar soni esa 10^{11} ta. Agar Metagalaktika o'lchamini 600 Mps va undagi obyektlar massasini Galaktika massasiga teng deb olsak unda koinot zichligi

$$\rho_{\text{koinot}} = 5 \cdot 10^{-31} \text{ gr/sm}^3$$

kelib chiqadi.

Koinot zichligi bilan kritik zichlikni taqqoslash bugungi kundagi koinot kengayayotgan koinot modeliga to'g'ri keladi.

$$\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

Hozirgi kunda nur tezligidan kata tezlik yo'qdir. 220 pk dan uyog'i kosmologik masofadir.

Koinotning kengayish hodisasi uning portlaganligi $T=0$ sababli deb tushuniladi, chunki koinotdagi barcha Galaktikalar to'dalari bir-birlaridan uzluksiz ravishda uzoqlashib boryaptilar. Fridman yechimi aynan kengayuvchi.. to'g'ri ekanligi Xabll tomonidan isbotlangan.

§3.2. Relyativistik astrofizika

Ma'lumki, nisbiylik nazariyasining natijalari katta massalar fazo va vaqt (zamon va makon) xossalarini o'zgartiradi degan xulosaga olib keladi. Biz biladigan oddiy Yevklid fazosidagi xossalar (masalan, uchburchak burchaklarining yig'indisi, parallel chiziqlar xossalari) katta massa yaqinida o'zgaradi, yoki boshqacha qilib aytganda, fazo egrilanadi.

Shunday qilib masalan, Quyosh to'liq tutilishi vaqtida uning yaqinidagi yulduz vaziyatini kuzatish natijasida yulduzdan kelayotgan nur Quyosh ta'sirida o'z yo'nalaishini taxminan $2''$ ga o'zgartirishi ma'lum bo'lgan.

Hamma galaktikalar to'dalari massalarining hosil qilgan umumiy gravitasion ta'siri bir butun fazoning ma'lum bir egrilanishiga olib kelishi mumkin va bunda uning xossalariga ta'sir ko'rsatishi aniq seziladi, binobarin, buning butun Koinot evolyusiyasiga ham ta'siri bo'ladi. Umuman olganda, Koinotda massalar taqsimoti ixtiyoriy bo'lganda nisbiylik nazariyasi qonunlari asosida fazo va vaqt xossalarini aniqlash juda qiyin masala hisoblanadi.

Zamonaviy relyativistik kosmologiyani A.A.Fridman ishlaridan boshlangan deb aytsa bo'ladi. Qaysiki bu ishda bir jinsli izotrop Koinotda modda harakati hisoblanib, shu asosda modda tinch holatda bo'la olmasligi va Koinot nostasionar holatda, ya'ni u

yo kengayishda, yoki siqilish jarayonida bo'lishligi isbotlangan. Binobarin, bunda Koinotdagi o'rtacha zichlik ham vaqt davomida o'zgarib boradi. Relyativistik kosmologiyada Koinotning nostasionarlik xarakteri aynan yuqoridagi paragrafda biz qaragan «klassik» holdagidek (cheksiz kengayish va siqilish jarayoni bilan almashinuvchi kengayish) aniqlanadi. Relyativistik kosmologiyada topilgan zichlikning kritik qiymati yuqoridagi (6) ifoda bilan umuman olganda, mos tushadi.

Relyativistik nazariyaning negizini fazo egrilanishini aniqlash mumkinligi tashkil etadi. O'rtacha zichlik kritik qiymatga teng bo'lganda kengayish tezligi nulga cheksiz intiladi (sekinlashish), fazoning egrilanishi nulga teng va u Yevklid geometriyasiga bo'ysunadi. Boshqa qolgan hollarda fazo geometriyasi Yevklid geometriyasi bilan mos tushmaydi. Agar zichlik kritik qiymatdan kichik bo'lsa fazo egrilanishi manfiy, katta holida esa egrilanish musbat bo'ladi. Binobarin, birinchi holda Koinot har doim kengayishda bo'ladi, ikkinchi holda esa ma'lum davrga kelib kengayish jarayoni siqilish bilan almashanadi. Bu ikkinchi holida noyevklid geometriyasiga ko'ra fazo chekli bo'lishi kerak, ya'ni u ixtiyoriy vaqt momentida chekli aniq hajmga, chekli massaga hamda galaktikalar to'dalarining chekli soniga ega bo'lishi kerak va h.k. Ammo, Koinot chegarasi albatta yo'q.

Bunday uch o'lchovli fazoning ikki o'lchovli modeli sifatida kengayayotgan sfera sirtini olish mumkin. Bunday modelda galaktikalar unda chizilgan yassi shakllar ko'rinishida ifodalanadi. sfera sirtining cho'zilishi natijasida uning yuzasi va hamma shakllar orasidagi masofalar kattalashadi. Aslida umuman olganda bunday sfera cheksiz kattalashishi mumkin, uning sirti yuzasi har bir vaqt momentida chekli bo'ladi, shu bilan birga bu ikki o'lchovli fazoda (sirtda) chegara yo'q[11].

Relyativistik kosmologiyadagi modellarda ham masshtab faktori - $R(t)$ ning qiymati energiya tenglamasi (4) dan, m - massa uchun yozilgan (3) va $r(t)$ ning ifodasi (2) lardan topilgan $R(t)$ bilan mos tushadi.

§3.3. Koinot vujudga kelishi va evolyusiya bosqichlari

1965 yilda kosmologiya uchun juda muhim kashfiyot qilindi. Bu kashfiyot

Koinotning izotropligi va bir jinsliligi haqidagi taxminni tasdiqladi. Yerning sun'iy yo'ldoshini kuzatish maqsadida radioasbobni sozlash vaqtida tasodifan kuchsiz fonli radionurlanish qabul qilingan va bu nurlanish hamma yo'nalishda bir xil intensivlikka ega bo'lgan. Zamonaviy kuzatuvlarga asosan prosentning bir qancha o'nlik ulushlari aniqligida bu nurlanish izotropdir (ya'ni uning temperaturasi yo'nalishga bog'liq emas). Bu nurlanish spektrida energiya taqsimoti bo'yicha issiqlik nurlanishi bo'lib, u taxminan 3k ga mos keladi. Bunday temperaturada nurlanish maksimumi spektrning taxminan 1 mm diapazoniga to'g'ri keladi. Hozirgi vaqtda koinotda shu qadar yuqori izotrop darajasiga va Plank spektriga ega bo'lgan hamda spektrning millimetr diapazonida nurlanuvchi obyektlar ma'lum emas. shu asosda 3k temperaturali bu nurlanishni koinotda modda zichligi juda katta bo'lgan va muhit o'ta xira vaqtda nurlangan hamda shu paytgacha saqlanib qolgan nurlanishga o'xshatilgan. kengayish jarayonida vaqt o'tishi bilan modda sovigan va u ionlashgan holdan neytral fazasiga o'tib shaffof holga kelgan. Nurlanish esa moddadan «ajralganidan» so'ng qayta yutilmay shu vaqtgacha saqlanib qolgan.

Hisob-kitoblar shuni ko'rsatadiki, moddaning shaffoflanish jarayoni boshlanganda Koinotdagi modda zichligi 10^{-20} g/cm^3 (atomlarning o'rtacha konsentratsiyasi 10^4 cm^{-3}) bo'lgan, ya'ni hozirgisidan milliard marta katta bo'lgan. Madomiki, zichlik masofa kubiga teskari proporsional ekan, demak, Koinotning kengayishini agar xuddi hozirgidagidek desak, u holda muhit xira bo'lgan davrda Koinotdagi hamma masofalar taxminan 1000 marta kichik bo'lgan. Xuddi shuncha marta to'liq uzunlik ham kichik bo'lgan. shuning uchun hozir vaqtda 1 mm to'liq uzunlikka ega bo'lgan kvantlar ilgari 1 mkm to'liq uzunligiga ega bo'lgan, qaysiki nurlanish maksimumi Plank qonuni bo'yicha 3000-4000 k temperaturaga to'g'ri keluvchi nurlanishga mos kelgan.

Shunday qilib, relyativik nurlanishning mavjudligi nafaqat ilgari Koinotdagi zichlik katta bo'lganligini, bundan tashqari uning temperaturasi ham yuqori bo'lganligini (Koinotning «qaynoq» modeli) ko'rsatadi.

Koinot bundan ham zichroq va uning temperaturasi yanada yuqori bo'lganligini umuman olganda xuddi yuqoridagi nurlanishga o'xshash reliktivik neytronlar nurlanishi

orqali munozara qilsa bo'ladi. Buning uchun Koinotning xiraligi uning zichligi $\rho \geq 10^7 \text{ g/cm}^3$ bo'lgandagiga mos keladi, lekin bunday zichlik Koinot kengayishining juda boshlang'ich bosqichlarida bo'lishi mumkin. Qachonki zichlik bu qiymatdan kichiklashishi bilan neytrinolar bilan ham xuddi reliktivik nurlanish kabi hol ro'y Bergan, ya'ni neytronlardan chiqqan nurlanish qolgan moddalar bilan ta'sirlashmay kengayish jarayoni ketayotgani uchun faqat kosmologik qizilga siljishni boshlaridan o'tkazganlar. Baxtga qarshi, bunday neytrinolarni yaqin orada qayd qilishning imkoni juda qiyin, chunki hozirgi vaqtda ular hammasi bo'lib elektron-voltning bir necha o'n ming ulushiga teng energiyaga ega bo'lishlari kerak[10].

Shunday qilib, bundan 10 milliard yil ilgari Koinot juda zich va qaynoq holatda bo'lgan. Umuman olganda, zichlik va temperaturaning o'zgarish qonunini vaqt bo'yicha orqaga davom ettirib borib shunday vaqtni ko'rsatish mumkinki, bunda kengayish qandaydir alohida o'ta zich holatdan boshlanganligini ko'rsatish mumkin va bu holatni singulyar holat deb atash qabul qilingan. Bu kengayish jarayoni boshini katta portlash deb nomlangan. Bosim va zichlik bu vaqtda rasmiy holda cheksizlikka intiladi. Bu shu narsani bildiradiki, modda holati singulyarlikka yaqin vaqtda fizikada hali noma'lum bo'lgan qonunlar asosida bo'ladi. Zichlik 10^{93} g/cm^3 qiymatidan oshganda hattoki Eynshteyning tortishish relyativistik nazariyasini ham u kvant effektlarini hisobga olmaganligi sababli qo'llab bo'lmaydi. Plank davri deb ataluvchi bu asrda gravitasion maydonning kvantlari – gravitonlar yuzaga kelishi kerak.

Lekin taxminan kengayish boshlanganidan 10^{-43} sekund keyingi holatga NUN qo'llash mumkin bo'ladi. Bizning olam evolyusiyasining juda boshlang'ich bosqichi uchun tuzilgan kengayuvchi bir jinsli izotrop qaynoq koinot modelidan kelib chiquvchi, lekin taxminiy va hali uncha to'liq tekshirilmagan xulosalarni ma'lum birlarini keltiramiz:

Aslida Koinotning o'ta zich holati uncha ko'p vaqt davom etmasligi kerak, lekin u keyingi evolyusiya davomida katta ahamiyatga ega bo'lgan davr hisoblanadi. Eng ahamiyatlisi shundaki, modda temperaturasi va zichligining katta qiymatlarida zarracha va kvant nurlanishlari orasida o'zaro o'tishlarning aktiv jarayoni boshlangan. Birinchi vaqt onlarida zarrachalar va ularning antizarrachalari teng miqdorda tug'ilib turgan. Bu

jarayon analogiyasi sifatida ikki kuchli gamma-kvantlarining to'qnashishi natijasida yuzaga kelgan elektron-pozitron juftligini ko'rsatish mumkin:

$$\gamma + \gamma \Leftrightarrow e^+ + e^-.$$

Bu reaksiya teskari yo'nalishda ham, ya'ni elektron va pozitron annigilyasiya jarayoni tufayli ikkita γ – kvanti hosil bo'lishi mumkinligidan strelka chapga ham ko'rsatilgan. Muvozanat sharoitlarida to'g'ri va teskari jarayonlar hamma vaqt bir xil miqdorda ro'y beradi.

Tinch holatdagi massasi m bo'lgan zarracha yuzaga kelishi uchun kvant energiyasi mc^2 qiymatidan kichik bo'lmasligi kerak, shuning uchun elektron-pozitron juftligi uchun kamida 1000 keV energiya talab qilinadi, yoki temperatura $T > 10^{10}$ K bo'lishi kerak. Temperatura va unga mos holda kvant energiyasi qancha katta bo'lsa, o'zaro ta'sir natijasida shuncha katta massali zarracha yuzaga kelishi mumkin. Koinot evolyusiyasining juda boshlang'ich bosqichlarida xaddan tashqari qisqa yashovchi va juda massiv gipotetik zarrachalar yuzaga kelishi mumkin bo'lgan. Zichlik va temperaturaning kamayishi bilan nisbatan kichik massali zarrachalar paydo bo'la boshlagan hamda bu vaqtda massivroq zarrachalar esa parchalanish va annigilyasiya hisobiga qandaydir «yo'qolib» borgan.

Muhimi shundaki, zarrachalarning va ularga mos antizarrachalarning «yo'qolib» borishi aynan bir xil kechmagan, ya'ni antizarrachalarning hammasi umuman olganda yo'qolib ketgan, proton va neytronlarning (nuklonlarning) judayam kam ulushi esa qolgan. Natijada kuzatilayotgan olam antimoddadan emas, balki moddadan qurilgan, aslida umuman olganda Koinotning qayeridadur antimoddadan iborat soha bo'lishi haqiqatdan holi emas. Har ehtimolga qarshi, zarracha va antizarrachalarning asimmetriya xossasi bo'lmaganida, olam umuman yolg'on moddadan iborat bo'lib qolardi.

Nuklonlarning hosil bo'lishi bilan Koinot evolyusiyasining adronlar (adronlar bu – kuchli o'zarota'sirlashuvchi zarrachalar: protonlar, neytronlar, mezonlar va boshqalar) asri tugaydi. Adron asridan keyin leptonlar erasi boshlanadi. Bunda muhit musbat va manfiy myuonlar, neytrino va antineytrino, pozitron va elektronlardan tashkil topgan bo'ladi. Nuklonlar nisbatan kam bo'ladi. Koinotning keyingi kengayishi davomida

myuonlar, shu bilan bir qatorda elektron va pozitronlarning annigilyasiya jarayoni ro'yo Bera boshlaydi. keyinchalik modda bilan neytrinoning o'zaro ta'sirlashuvi tugaydi va yuqorida qayd qilgan singulyarlikdan 0,2 sekund keyingi momentda neytrino «ajralishi» jarayoni ro'y Beradi. Hozirgi kunga kelib bu reliktik neytrinolarning issiqlik energiyasi kamaygan va u taxminan 2k temperaturaga mos bo'lib qolgan.

Singulyarlikdan keyin taxminan 10 sekund o'tgach temperatura 10^{10} k atrofida qiymatga erishadi va nurlanish asri boshlanadi. Bu davrda modda bilan hali kuchli o'zaro ta'sirlashuvchi fotonlar, shu bilan birga moddadan «ajralib chiqqan» neytrinolar mavjud bo'ladi. Katta portlashdan 100 sekund keyin birinchi nukleosintez jarayoni boshlanadi. Eng assosiysi shundaki, protonlarning ma'lum bir qismi neytronlar bilan birlashishga ulgurib geliy yadrosini hosil qiladi. Bunga umumiy protonlar sonining taxminan 10% ketadi. Nurlanish asri plazmaning ion holatidan neytral holatga o'tishi bilan tugallanadi. Bu esa modda xiraligi darajasining kamayishi va nurlanishning «ajralishi» bilan birga ro'y beradi. Kengayish jarayoni boshlanganidan keyin million yil o'tgach moda asri boshlanadi va bunda qaynoq vodorod-geliy plazmasi va boshqa yadrolarning juda kam ulushidan bizning olamning hamma mavjud ko'p ko'rinishlari rivojlana boshlagan.

Koinot kengayishining bu bosqichlarini qarayotgan vaqtimizda quyidagi muhim savol yuzaga keladi:

- qanday qilib nobirjinslilik yuzaga kelgan, qaysiki buning natijasida Koinotning butun tashkiliy shakllari (galaktikalar, galaktikalar to'dalari va boshqalar) paydo bo'lgan?

taxmin qilinadiki, bu nobirjinsliliklar kichgina fluktuasiyalar ko'rinishida tug'ulib, keyinchalik esa ular koinotdagi ionlashgan gaz neytrallasha boshlagandan, ya'ni moddadan nurlanish «ajralib» reliktik bo'lganda kuchaya borgan. Bunday kuchayish sezilarli fluktuasiyalarning yuzaga kelishiga olib kelishi mumkin, qaysiki buning natijasida galaktikalar shakllana boshlagan.

Koinotning ancha kattaroq tuzilmalari shakllanishida neytrinolar sezilarli rol o'ynagan bo'lishlari mumkin bo'ladi, agarda faqat haqiqatan ularning tinchlikdagi massasi nuldan farqli bo'lsa. Neytrinolarning harakat tezliklari taxminan yorug'lik

tezligi teng bo'lganligi uchun ularning ixtiyoriy fluktuasiyasi juda tez so'rilib ketgan. Ammo kengayish boshlangandan keyin bir qancha yuz yil o'tgach massaga ega bo'lgan neytrinolar tezligi yorug'lik tezligidan sezilarli kichik bo'la boshlagan bo'lishi kerak. shuning uchun qandaydir momentdan boshlab neytrinolarning yirik quyuqlashmalari endi so'rilmasdan Koinotdagi galaktikalar to'dalari va galaktikalar o'ta to'dalari kabi katta tuzilmalari yuzaga kela boshlashiga imkon Bergan. Bunda galaktikalarning o'zlari oddiy holdagi moddadan shakllanadi, agar neytrinolar sezilarli massaga ega bo'lsalar unda ular massalarning gigant quyiqlashishlari uchun tortishish markazi roli vazifasini barjara boshlab, shu tariqa galaktikalar to'dasining ko'rinmas massa manbaiga aylanadilar[14].

Hozirgi kunda juda katta qiyinchiliklarga qaramay Kosmologiya muammolari jadal o'rganilmoqda. Albatta, hali ko'p narsalar biz uchun noma'lum, lekin umuman olganda Kosmologiyada qo'lga kiritilgan yutuqlarimiz doirasida Koinot tuzilishi va evolyusiyasining umumiy qonuniyatlari haqida ma'lum bir tassavurga egamiz.

Bob IV. Moddalarning beshinchi agregat xolatini astrofizikadagi o'rnini

§4.1. Gravitasion yulduzlar.

AQShlik astrofiziklar qora tuynuklar to'g'risida yangi gipotezani ilgari surdilar, bu gipotezaga kura qora tuynuklar tuynuk bo'lmasdan, balki tabiatiga ko'ra Boze-Eynshteyn pufakiga o'xshagan obyektlardir. Emil Mattalo va Pavel Mazurlar qora tuynuklarni Koinotdagi muhitni izsiz yutuvchi tuynuk shaklida emas, balki ichki bo'sh sferik bo'shliq shaklida tasavvur etadilar. Bunday bo'shliqlar ilgari Yerda ma'lum bo'lmagan, alohida tabiatli muxit bilan o'rganilganligini e'tirof etdilar. Ular bunday obyektlarga gravitasion yulduzlar deb nom qo'ydilar[4].

Gravitasion yulduzlar qora tuynuklarning tradision qarashlaridan kelib chiquvchi ko'pchilik savollariga javob Bera oladilar. Bunday obyektlarni tradision tushuntirilishi, qanday qora tuynuklar Koinotda yulduzning yashash davrini oxirida massasi ma'lum chegaradan oshganda hosil bo'ladi. Nimadan yulduz o'lgandan keyin siqila boshlaydi va uning sikilishi muxitning bosim kuchini teskarisiga ko'ra oshadi. kollaps vujudga kelib, butun muxit bitta nuqtaga jamlanadi va bunday nuqtani o'lchami gravitasion radiusga ko'ra variyasiyalanib, hych nima va hatto yoruglik ham uning ta'sir zonasidan chiqib keta olmaydi.

Mattallo va Mazurlar qayd etdilarki, so'nuvchi yulduzda buzilish jarayoni, ya'ni kollaps cheksiz bo'lmasdan qandaydir chegaragacha amalga oshadi, bunda so'nuvchi yulduz og'irlik kuchi yulduz muxitini yangi fazaga transformasiya etadi. Mattallo bunday fazani muxitni xuddi Boze-Eynshteyn fazasidek tasavvur etadi.

Boze-Eynshteyn kondensasiya bu juda ko'p sonli ideal Boze - gazdagi fazaviy o'tish bo'lib, bunda makroskopik ko'p sonli zarralar impulsi nolga teng bulgan holatga o'tadi. Bunday holat nolga teng absolyut xaroratda zarralarning de-Broyl tulqin uzunligi ularning o'rtasidagi masofaga teng bo'lganda vujudga keladi. Muxit Boze-Eynshteyn kondensat bo'lguncha sovutilganda, uni tashkil etgan atomlari yangi fazaga transformasiyalanadi. Atomlar kvant holatga erishib, materiyaning qatrasiga aylanadi, bunday qatlam «Yuqori navli atomlar» yoki «super atomlar» dan tashkil topgan bo'ladi. Mattallo va Mazur faraz qiladiki, so'nuvchi yulduz hodisalar gorizontigacha

siqilib, bunda muxit ma'lum chegaradan o'tib yangi fazaga transformasiyalanadi. Ularning tasavvurlariga ko'ra so'navchi yulduz muxiti ultratunuk, ultrasovuq, ultraqorong'u qobig'dan iborat bo'lib, umuman buzilmaydigandir. Bunday obyektning gravitasion energiyasini yangi formasi Boze-Eynshteyn kondensatiga qondosh bo'lib, uning ichida bushliq joylashganligiga o'xshaydi.

Gravitasion yulduz tekisligi yaqiniga tushgan xar qanday muxit, energiyani boshqa formasi shaklida nurlanadi, bu gravitasion yulduzlarni, qora tuynuklarga qaraganda kuchli radiasiya manbaiga aylantiradi. Gravitasion yulduzlar ichida fazo va vaqt qora tuynuklar modelidagidek o'zaro joy almashadi.

Gravitasion yulduz modeli qora tuynuk modelidan kelib chikuvchi tushuntirib bo'lmaydigan savolni tushuntira oladi. Qopa tuynuk ichida o'tuvchi jarayonlar ssenariyasiga ko'ra, entropiya miqdori cheksiz katta bo'lishi kerak. Fiziklar qora tuynuklarni entropiyasini katta bo'lishini tushuntirishga juda ko'p urindilar va bu urinishlar natija bermadi. Gravitasion yulduzlar qora tuynuklardan farqli kichik entropiyaga egadirlar. Mattallo va Mazurlar gravitasion yulduzlar modelini mukammallash ustida ish olib borib, uni aylantirish konsepsiyasi ustida ish olib boryaptilar. Ularni qayd qilishicha butun Koinot gigant gravitasion yulduz ichida joylashgan bo'lishi mumkin[9]. Moddalarning Beshinchi agregat xolati laboratoriyada kashf etilgandan keyin, shunday bir savol paydo bo'ladiki, faqatgina bazonlar sistemasi yangi fazaga transformasiyalanadimi? Gravitasion yulduzlar muxiti bazonlardan xosil bo'ladimi? Olib borilgan izlanishlarni ko'rsatishicha Fermionlar sistemasi ham yangi fazaga transformasiyalanishi mumkin. Ya'ni gravitasion yulduzlarning muxiti nafaqat bazonlarga, balki fermionlarga ham qondosh bo'lishi mumkin.

§4.2. Muhitning oltinchi agregat holati.

AQSHlik fiziklar asrlik ilmiy qiymatga ega bo'lgan yangilikni yaratdilar. Birinchi marotaba moddalarning yangi oltinchi fazasi yaratildi, oldin moddalarning qattiq, suyuq, gaz, plazma, Boze-Eynshteyn kondensasiya holatlari ma'lum edi. Endi Fermi kondensat deb ataluvchi yangi oltinchi fazasi ham yaratildi.

Yuqorida biz qayd etdikki, Boze-Eynshteyn kondensatini bazonlar deb ataluvchi zarralar tashkil etadi. Bizni qamrab olgan material tabiatga barcha atomlarni va molekulalarni faqatgina bazonlar tashkil etmasdan, balki fermionlar deb ataluvchi zarralar ham tashkil etadi. Pauli prinsipiga ko'ra fermionlar sistemasi bitta kvant holatga ega bo'la olmaydi va shuning uchun ular Boze - kondensat holatigacha tusha olmaydi.

Fermionlar bu boshqa dunyo zarralari bo'lib, unda erkinlik xukmronlik qilib, biror zarra boshqasiga o'xshash bo'lmaydi. Kvant fizikasi tili bilan aytilganda, fermionlar induvidual xarakteristikalariga ega bo'lib, induvidual koordinatalarga ega bo'ladi. Bundan tabiatda Fermionlar kondensati bo'lishi mumkin emas degan xulosa chiqmaydi. Biz yuqorida keltirilgan gravitasion yulduz materiyasi Fermi kondensatga qondosh bo'lishi ham mumkin. Fiziklar Fermi - kondensat holatini laboratoriyada kashf etdilar. AQshlik fiziklar guruxi Debora Djin raxbarligida Fermionlar sistemasiga rezonans magnit maydoni bilan shunday ta'sir etadiki, ular bazonlar molekulalari sistemasiga aylanadi.

Ma'lum bo'ladiki, bazonlar sistemasiga aylangan fermionlar sistemasi, moddalarning ma'lum bo'lgan oltita holati ichida eng nostabilidir. Debora Djin raxbarligida 500 ming kaliy - 40 atomlaridan tashkil topgan gaz $5 \cdot 10^{-8}$ K temperaturagacha sovutildi. tajribada magnit maydoni bilan birgalikda zarralarni uzoq vaqt ushlaymaydigan optik ushlovchi ochiladi. Xosil bo'lgan molekulalarning xarakati kartinasini aniq kondensasiyalangan bulut shaklini hosil atomlar orasidagi bog'lanish, kuperning tradision jufti orasidagi bog'lanishdan ham mustaxkamligi aniqlandi. Lekin aniqlangan moddalarning oltinchi agregat holati hali tekshirishlarni talab etadi. Oxirgi paytlarda shunday e'lonlar ham paydo bo'ldiki, kvark - glyunli plazma, super qattiq jism, neytron yulduzlar materiyasi, bazonli - kondensat holatidir[3].

Qayd qilish kerakki, fermion - kondensatni mavjudligini laboratoriyada ko'rsatilishi bu teskari metoddir. Olimlar kuper qo'shilishini atomlar sathda kuzatilgan bo'lishlari mumkin. Qayd qilish kerakki, olib borilganizlanishlar kelgusida bizga noma'lum bo'lgan xususiyatlarini ochilishi aniqdir.

§4.3. Boze-Eynshteyn kondensatdagi akustik qora tuynuk.

Izroildagi Xayfa texnologik institutdagi fiziklar guruxi laboratoriyada Boze-Eynshteyn kondensatida, gravitasion qora tuynuk analogi akustik qora tuynukni kuzatdilar.

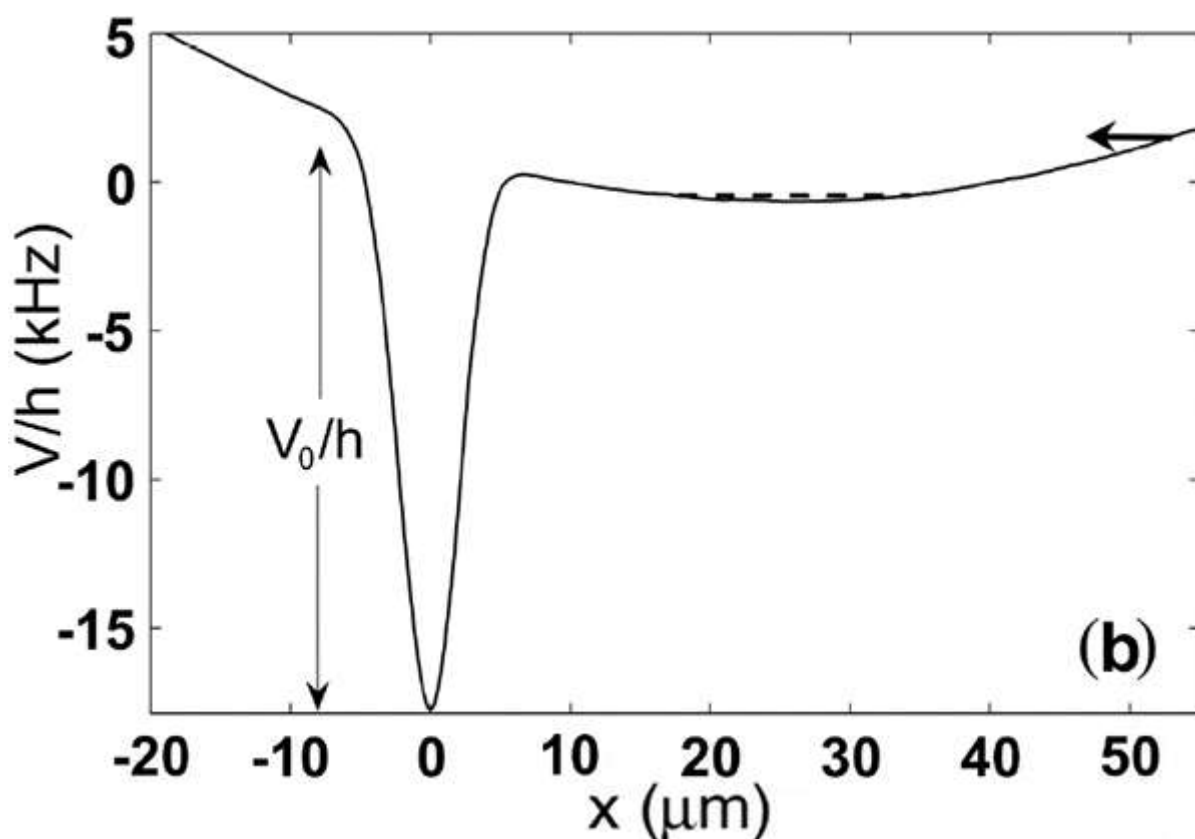
Xosil qilingan bunday qora tuynukda xam gravitasion qora tuynukdagidek hodisalar gorizonti mavjud bo'lib, uning chegarasida hosil bo'lgan tovush to'lqinlari tuynukni tashlab chiqib keta olmaydi. Olimlarning fikriga ko'ra, bunday obyektни hodisalar gorizonti yaqinida tovush to'lqinlarini hosil qilib, o'zining issiqlik spektriga ko'ra, gravitasion qora tuynuklarni Xokings nurlanishiga o'xshash nurlanishni qayd qilish mumkin. Agar kelgusida kondensatdan bunday akustik nurlanish tajribada qayd etilsa, bu xaqiqatan ham gravitasion qora tuynuklarni va ularni Xokings nurlanishini mavjudligini isboti bo'lar edi.

Birinchi rasmda Boze-Eynshteyn kondensatdagi zichlikni inversiya mexanizmi ko'rsatilgan. kondensatdagi rubidiy atomlari rasmda strelka bilan ko'rsatilgan yo'nalishda, tovushning shu muxitdagi tezligidan, kichik bo'lgan tezlik bilan oqadi. kondensat energetik chukurlikka tushib, o'ta tovush tezligigacha tezlashtiriladi. chuqurlik tubini o'tib, undan tovush tezligigacha tezlik bilan chiqadi va bundan keyin chuqurga tushgan tezlikkacha bo'lgan tezlik bilan xarakat qiladi. Massaning saqlanish qonuniga ko'ra, kondensatning zichligi yuqori energetik satxda, uning chuqurlikdagi tezligidan kattadir. Chuqurlik balandligi V energiyaning Plank doimiysi h birligidagi birliklarda, ya'ni chastota birligida o'lchanadi.

Rubidiy atomlaridagi Boze-Eynshteyn kondensat rasmda ko'rsatilgan strelka yo'nalishida Berilgan muxitdagi tovush tezligidan kichik malum tezlikda oqadi. kondensat energetik bo'shliqda tushib, o'tatovush tezligigacha tezlashadi, chuqurlik tubidan o'tib undan tovush tezligigacha tezlik bilan chiqadi, keyinchalik yana chuqurlikga tushushgacha tezligi bilan xarakat qilib ketadi. Massani saqlanish qonuniga ko'ra, kondensatning zichligi yuqori energetik satxda, kondensatning chuqurlik tubidagi zichligidan kattadir. Chuqurlikning balandligi energiyaning Plank doymisi h nisbati bilan yani chastota birliklarida o'lchanadi. Bu tajriba moxiyatini tushuntirish uchun

Boze-Eynshteyn kondensat holati nima ekanligini tushunish katta ahamiyatga ega.

Boze-Eynshteyn kondensatsiya bozonlarning, yani butun son spinga ega bo'lgan zarralarning D de Broyl to'liq uzunligi (Plank doymisining uning impulsiga nisbati) ularning orasidagi o'rtacha masofaga teng bo'lganda erishiladi. Bunday holat kritik temperatura deb ataluvchi, temperaturada erishiladi. Bozonlar sistemasining temperaturasi kritik temperaturaga teng bo'lganda, ular kvant mexanikasi ko'rsatuvchi eng kichik energetik holatga tushadi; yani boshqacha qilib aytganda kodensasiyalanadi. Atomlar gazning kondensasiyalanish kritik temperaturasi absolyut nol temperaturaga yaqin bo'ladi. Masalan birinchi marotaba AQSHda Erik kornel va karl Vimanlar tomonidan Boze-Eynshteyn kondensat holati 87 Rb rubidiy atomlaridan kashf etilganda, temperatura 170 nanokelvinga yaqin bo'lgan[9].



Rasm – 1. Kondensat zichligining inversiyasi.

§4.4. BEk astrofizik hodisalarni Yerda o'rganilishi uchun mini laboratoriyadir

Boze-Eynshteyn kondensasiyasiga bag'ishlangan eksperimental va nazariy ishlar ichidan shunday ishlarni xam ko'rsatish mumkinki, bu ishlarda BEK dan haligacha oxirigacha o'rganilmagan koinotda o'tuvchi xodisalarni tekshirishda laborator model sifatida foydalanish mumkinligi kayd etilgan. Masalan o'ta yangi yulduzlarni chaqnash jarayonini yoki qora tuynuklarni bug'lanishi. Albatta bunday laboratoriyada BEK yordamida aniq; qora tuynuklarni yoki o'ta yangi yulduzlarni hosil qilish tug'risida so'z bormay, balki unga paralel bo'lgan hodisa xususiyatlarini o'rganish qayd etiladi. Muxumki, qayd etilgan hodisalarni ifodalashni matematik podxodlari o'xshashdir. Nazariya bir xil bo'lsa, eksperimental natijalar ham yaqin bo'lishi kerak. Astronomlar koinot qa'rida, qora tuynuklarni nurlanishini, o'ta yangi yulduzlarni chaqnashini kuzatishga xarakat etsa, Yerda ularni BEK yordamida kuzatish mumkin. 2001 yili Nature jurnalida AQSHlik fiziklarni rubidiy 85 Rb BEK atomlarini siqilishi va keyingi portlashi tug'risida maqola e'lon qilindi. Bunday hodisaga o'ta yangi yulduzga o'xshatib, Boze - yangi deb nom berildi. Bundan haqiqatan ham kosmik jarayonlarni o'rganishda BEK dan Yerdagi mini laboratoriya sifatida foydalanish mumkin degan xulosa kelib chiqadi.

Koinotdagi qora tuynuklar va Yerdagi BEKdagi qora tuynuklar analogiyasdan qanday foydalanish mumkin. Ma'lumki, qora tuynuk fazoning shunday oblastiki, unda gravitasiya shunday katta bo'ladiki, hatto undan yoruglik ham chiqib keta olmaydi. Qora tuynuk koinotni boshqa qismlardan hodisalar gorizonti deb ataluvchi chegara bilan ajratilgan buladi. Xodisalar gorizonti ichida joylashgan narsa uni tashlab chiqib ketolmaydi. 70 yillarda Xokings ko'rsatadiki, qora tuynuklar muxutni faqatgina yutuvchi obyekt bo'lmasdan, balki nurlanuvchi obyekt ham. Bunday nurlanishga Xokings nurlanishi deyilib, natijada qora tuynuk massasi kamayadi. Nurlanish mexanizmi quyidagichadir: qora tuynuk hodisalar gorizonti yaqinida vakuumning fluktuasiyasi natijasida ikkita zarra tug'iladi. Birinchisi manfiy energiya bilan, ikinchisi musbat energiya bilan (masalan ikkita foton), ular kuchli gravitasiya tufayli annigilyasiya bo'lishga ulgurmaydi. Manfiy energiyaga ega bo'lgan zarra hodisalar

gorizonti ostida bo'lganligi sababli u yutiladi, musbat energiyaga ega bulgan zarra gorizont ustida bulganligi sababli, qora tuynukdan uzoklashib qayd etiladi. Antizarrani qora tuynuk yutib, erengiyasini shuning uchun massasini ham kamaytiradi. Bundan kelib chiqadiki, qora tuynuk nurlanadi ham, shuning uchun xam massasi kamayadi. Bunday nurlanishga Xokings nurlanishi deyiladi. Nazariyaga ko'ra bunday nurlanishga temperaturani solishtirish mumkin, ya'ni uni qayd qilish mumkin. Keyingi xisob-kitoblarning kursatishicha, Xokings nurlanishi temperaturasi juda past, koinotni relikt nurlanishi temperaturasi 2,7 k dan xam past. shuning uchun Xokings nurlanishini (agar u mavjud bo'lsa) qayd qilish nixoyatda kiyindir.

Yer sharoitida kolosak katta gravitasiyaga ega bo'lgan gravitasion kora tuynukni xosil qilish mumkin emas. Lekin BEK da akustik nurlanishlarni xosil kilib tekshirish mumkin. Asosiy g'oya shundan iboratki, kondensat muxit bo'lib, har kandy materialdagi kabi unda tovush ma'lum tezlik bilan tarqaladi. Faraz qilamizki, BEK ning biror oblasti tezlashtiriladi va tovushning kondensatdagi tezligidan katta tezlik bilan xarakat qiladi, bunda kondensatni qolgan kismi tovush tezligidan kichik tezlik bilan davom beradi. Tovush tezligidan katta tezlik bilan oqayotgan oblastni biz shartli ravishda qora tuynuk deb olamiz. Tovush tezligigacha va tovush tezligidan katta oblastlarni ajratuvchi chegarani esa shartli ravishda xodisalar gorizonti deb olamiz. Bunday gorizontda tovushni kvantlar jufti ikkita fonon xosil qilinadi, tabiiyki ular BEkdagi tovush tezligida tarqaladi. Fononlardan birining impulsini yo'nalishi kondensat holati yo'nalishga qarama-qarshi bo'lib, shuning uchun kondensat tomonidan ushlanadi, chunki uning tezligi kondensat tezligidan kichik. Ikkinchi fonon esa impulsning saqlanish qonuniga ko'ra qarama-qarshi tomonga xarakat qilib, kondensatdan uchib chiqadi. Bu uchib chiqdan fonon natijada fononli yoki akustik nurlanishni hosil qilib, muayyan issiklik spektriga yoki temperaturaga akustik bo'ladi. Haqiqiy qora tuynuk bilan analogiya ochevidnadir. Tovush tezligidan katta tezlik bilan harakat qilayotgan BEK oblasti fononlarni chiqarmaydi, bu gravitasion qora tuynukni fotonlarni yutishiga mos keladi. BEK ning tovush tezligiga teng tezlik bilan oqayotgan qismida hosil qilingan fononning urib chiqishi haqiqiy qora tuynukdan chiqayotgan fotonlarni bildiradi. shunday qilib kondensatda, haqiqiy qora tuynuk emas balki, uning

analogi akustik qora tuynuk xosil qilinib, unda Xokings nurlanishi tekshiriladi[4].

Yuqorida qayd etganimizdek Izraillik fiziklar bunday tajribani BEKda hosil qilib musbat natijaga erishdilar. Tajribani amalga oshirishda o'tgan qiyinchiliklar quyidagilardir. Rubidiy atomlaridan tashkil topilgan kondensat nafaqat undagi tovush tezligidan katta bo'lgan tezlikkacha tezlashtirildi, yana uni dissipativliksizligigacha (ishqalanishsizligigacha) erishildi. Buning barchasi yuqorida qayd etilgan zichlik inversiya mexanizmi orqali amalga oshiriladi. Vaqt kuchsiz o'zgaruvchan magnit maydonida (magnit ushlovchi) 100 ming rubidiy 87 dan tashkil topgan. kondensat oqimi generasiyalanadi. Boshlang'ich paytda tovush tezligigacha tezlik bilan oqayotgan kondensat, chuqurlikga tushib o'ta tovush tezligigacha tezlashadi (Rasm 1). kondensatdagi oqim tezligi undagi tovush tezligiga teng bo'lgan qismi akustik qora tuynuk gorizontini tashkil etadi. Kondensat eng pastki holatda (energetik chuqurlik pastidagi holatda bo'lmaganligi) bo'lmaganligi sababli, kvantomexanik qonunlarga ko'ra, u chuqurlik pastida yashash uchun qolmaydi. BEK undan itarishib chiqariladi va chuqurlikga tushgunichat bo'lgan tezligida oqishni davom beradi.

Izraillik fiziklar xam qopa tuynuk gorizontida fononlarni uyg'otishga kirishganlaricha yo'q shuning uchun BEk dan xech qanday akustik nurlanishni kuzatganlari yo'q. Ular fakatgina BEk xarakatining turli vaqt momentlari uchun fononlar nurlanishlar temperaturasi xisoblanadilar. Nurlanish temperaturasi 0,2 - 0,3 nanokelvin orasida bo'lib chiqdi. Olimlarning fikricha, BEk dagi tovush to'lqinlarini tezligini bitta tartibda oshirib, Xokking fononli nurlanishini temperaturasi 2-7 nanokelvingacha oshirish mumkin, natijada bunday hodisani eksperimentatorlar tomonidan kuzatish ancha osonlashadi.

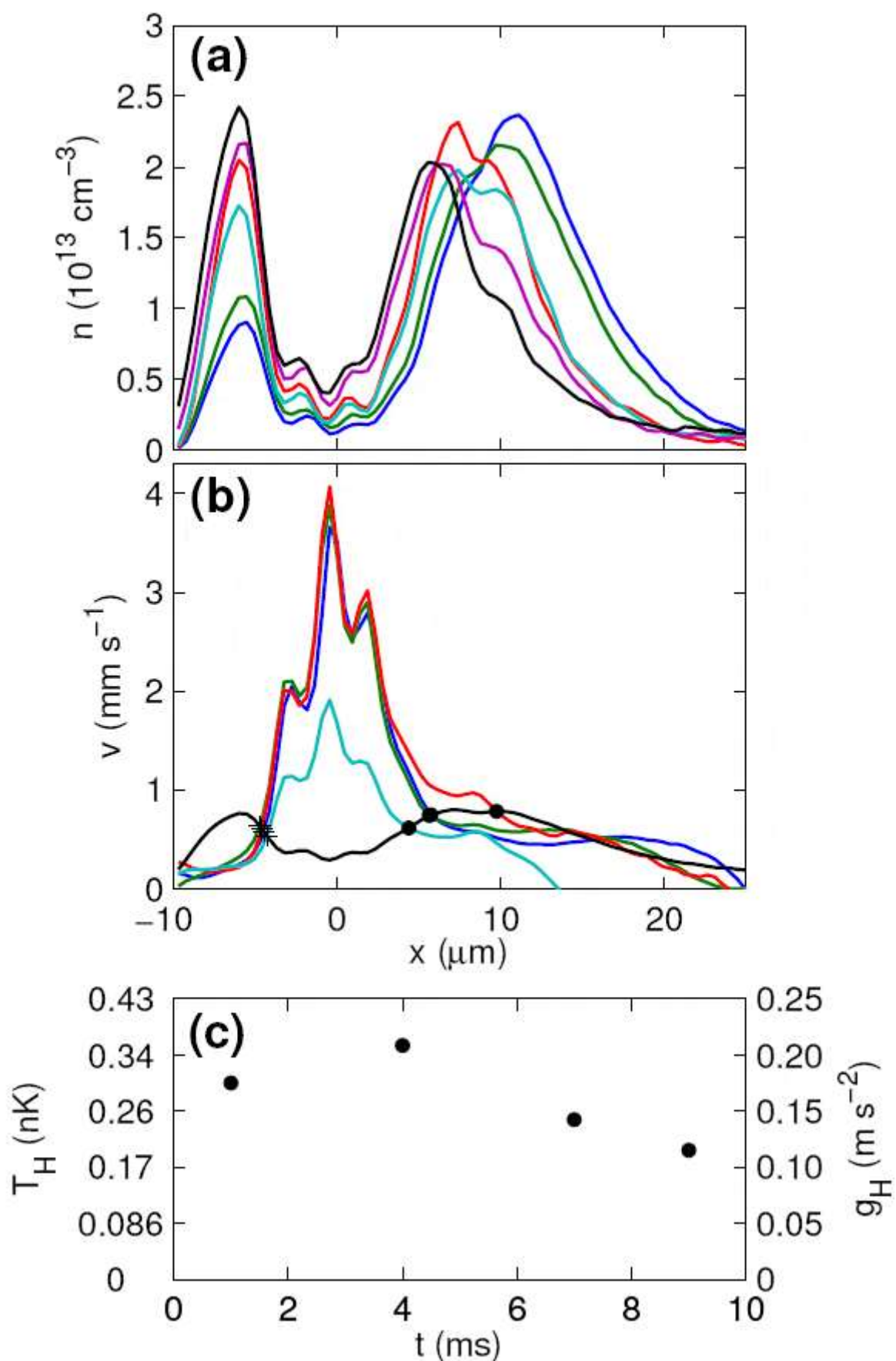
§4.5 BEk-da akustik qora tuynuk hosil qilishni eksperimental realizatsiyasi.

Xayfa Politexnika instituta (Isroil) fiziklar BEKda qora tuynuk hosil qilish birinchi qadamni quyidilar. Tajribada rubidiy atomlaridagi kondensat, nafaqat kondensatdagi tovush tezligidan katta tezlikgacha xarakatga keltiradi, yana xarakatni dissipativsiz (ishqalanishsiz) bo'lishiga erishildi, xarakat tezligi birjinsli emas, buning xammasi zichlik inversiyasi deb ataluvchi mexanizm orqali amalga oshiriladi. Vaktda kuchsiz o'zgaruvchi magnit maydonida (magnit lovushka) 100 ming

87 Rb rubidiy atomlaridan tashkil topgan kondensat inerasiyalanadi. Magnit lovushkada lazer yordamida chuqur energetik chuqurlik xosil qilinadi. (**Rasm 1**) Chuqurlikgacha kondensatda tovush tezligi bilan xarakat qilayotgan kondensat bu chuqurlikga tushib tezlashib tovush tezligidan katta tezlik bilan xarakat qila boshlaydi. kondensatni xarakati tovush tezligidan katta tezlik bilan xarakat qilishga o'tish soxasi bu hodisalar gorizontini tashkil qiladi. kondensat eng pastki chuqurlikning tubiga moye keluvchi energetik satxda bo'lmaganligi sababli kvant mexanikasi qonunlaridan chuqurlik tubiga tushgandan keyin u yerda yashashga qolmaydi. Chuqurlikdan itariladi va chukurlikga tushgangacha tezligi bilan xarakatini davom Beradi, **2a** rasmda BEkni energetik chuqurlikdan turli vaqt momentlarida o'tishida konsentrasiyasini (zichligini) taksimlanish grafigi keltirilgan. Vaqt taqsimlanishi grafigi 1-chi chiziqdek bo'lganidan boshlab xisoblanadi. Bunda koordinata boshi energetik chuqurlikning tubiga mos keladi. kondensat x ukining teskari yo'nalishlida oqadi. kuzatilgandek nulg teng koordinatalar yaqinida (energetik chuqurlik tubi) kondensat zichligiining minimumi kuzatiladi.

2b rasmda kondensat xar bir soxasining turli vaqtlardagi xarakat tezligi tezligi ko'rsatilgan. ko'rinib turibdiki, kondensat kondensat oqimi tezligini maksimal qiymati energetik chuqurlikni tubiga mos keladi ($x = 0$). 2b rasmdagi 2-chi chiziq tovushning BEkdagi harakat tezligi. U doimiy emas, chunki tovush tezligi muxit zichligiga bogliqdir, biz 2a rasmda ko'rdikki, BEK zichligi doimiy emas. 2-chi chiziqni qolgan egri chiziqlar bilan kesishish nuqtasi qora nuqtalar bilan belgilangan bo'lib qora tuynuk hodisalar gorizontini belgilaydi. shu vaqtda kondensat shu joyida uning oqim tezligi tovushning kondensatda xarakat tezligiga tengdir. Eksperimentning nuqtai nazaridan, kondensatning ana shu joyida, berilgan vaqtida fononlar juftini genarasiyalab Xoking nurlanishga o'xshagan nurlanishni hosil qilish mumkin[7]. Lekin Isroillik fiziklar ham fononlarni uyg'otish bilan bog'liq tajribani o'tkazganlaricha yo'q faqatgina nazariy yo'l xosil bo'ladigan fononli nurlanish temperaturasini BEK xarakatini turli vaqtlari uchun hisoblanadilar. (rasm 2s) Bu temperatura 0,2-0,3 Nk atrofida bo'lishi kerak. Avtorlarning fikricha ko'ra tovushni BEKdagi tezligini va BEK oqim tezligini bir tartibda oshirishi Xoking nurlanish temperaturasini 2-7 nk gacha oshirib

eksperimentatorlarga bunday xodisani qayd qilishni osonlashtirdi.



Rasm 2. a) kondensat konsentrasiyasini (zichligini) turli vaqt momentlarida taqsimlanish grafigi; b) kondensat turli uchastkalarini turli vaqtlardagi harakat tezligi; c) turli vaqt momentlarida fononli nurlanish temperaturasi taqsimlanishi (0,2-0,3 nK)

tezligi ko'rsatilgan. ko'rinib turibdiki, kondensat kondensat oqimi tezligini maksimal qiymati energetik chuqurlikni tubiga mos keladi ($x = 0$). 2b rasmdagi 2-chi chiziq tovushning BEKdagi xarakat tezligi. U doimiy emas, chunki tovush tezligi muxit zichligiga bog'liqdir, biz 2a rasmda ko'rdikki, BEK zichligi doimiy emas. 2-chi chiziqni qolgan egri chiziqlar bilan kesishish nuqtasi qora nuqtalar bilan belgilangan bo'lib qora tuynuk xodisalar gorizontini belgilaydi. Shu vaqtda kondensat shu joyida uning oqim tezligi tovushning kondensatda xarakat tezligiga tengdir. Eksperimentning nuqtai nazaridan, kondensatning ana shu joyida, berilgan vaqtida fononlar juftini genarasiyalab Xoking nurlanishga o'xshagan nurlanishni xosil qilish mumkin.

Lekin Isroillik fiziklar xam fononlarni uyg'otish bilan bog'liq tajribani o'tkazganlaricha yo'q faqatgina nazariy yo'l xosil bo'ladigan fononli nurlanish temperaturasi BEK xarakatini turli vaqtlari uchun xisoblanadilar. (Rasm 2s) Bu temperatura 0,2-0,3 Nk atrofida bo'lishi kerak.

Avtorlarning fikricha ko'ra tovushni BEKdagi tezligini va BEK oqim tezligini bir tartibda oshirishi Xoking nurlanish temperaturasi 2-7 nk gacha oshirib eksperimentatorlarga bunday xodisani qayd qilishni osonlashtirdi.

Bob V. Qora tuynuklar va ularning xususiyatlari

§5.1. Yulduzlar ichidagi fizik sharoitlar

Agar yulduzning massasi va radiusi ma'lum bo'lsa, u holda uning ichki fizik holati to'g'risidagi tasavvurlarga ega bo'lishimiz mumkin. Yulduzlarning ichidagi temperatura T ularning massasiga to'g'ri, radiusiga teskari proporsional bo'lishi kerak. Xususiyl holda yulduzlarning markazidagi temperatura uchun quyidagi formulani yozish mumkin:

$$T_0 = k \frac{m}{R} \quad (5.1)$$

bunda k – proporsionallik koeffitsiyenti bo'lib, uning qiymati Quyoshga o'xshash yulduzlar uchun ($R = R_0$ va $m = m_0$ deb olsak) $k \approx 15 \cdot 10^6 \text{ K}$ ga teng bo'ladi, u holda

$$T_0 = 15 \cdot 10^6 \frac{m}{R} \quad (5.2)$$

Aniqlanishicha Gersprung-Ressel [] diagrammasining bosh ketma-ketligidagi yulduzlar uchun

$$\frac{m}{R} = R^{1/3} \quad (5.3)$$

Bundan bunday yulduzlar uchun

$$T_0 = 1,5 \cdot 10^7 R^{1/3} \quad (5.4)$$

Bu formuladan yulduzlar asosiy ketma-ketligi yuqorisiga tomon yulduzlarning radiusi oshganligi sababli (3.4) formulaga ko'ra ularning temperaturasi va yorqinligi ham oshganligi kelib chiqadi. Masalan BOV sinfidagi yulduzning markazidagi temperatura $\sim 30 \cdot 10^6 \text{ K}$ ga teng bo'lsa, KOV sinfidagi yulduzlarning temperaturasi 10^6 K dan biroz kam bo'ladi.

Yulduzlarning markazidagi temperaturaning qiymatiga ko'ra yadro reaksiylarining xarakteri keskin o'zgaradi. Quyoshga o'xshash yulduzlarda asosan protonli sikl yadro reaksiylari kechayotgan bo'lsa, temperaturasi yuqori bo'lgan yulduzlarda uglerodli sikl yadro reaksiylari o'tayotgan bo'ladi. Yadro reaksiylarining har ikkala siklida ham protonlardan geliy yadrosi paydo bo'layotgan bo'lsa ham,

uglerodli sikl yadro reaksiyalarining, protonli reaksiyalardan farqi shundaki bunday reaksiyalarda katta miqdorda energiya ajralib chiqadi. shuning uchun yulduzlarning ichki tuzilishi ularda qanday yadro reaksiyalari o'tayotganligiga bog'liq ravishda bir-biridan katta farq qiladi. Quyosh va unga o'xshash yulduzlarda energiya ajralish protonli sikl yadro reaksiyalari hisobidan amalga oshadi. Oldingi spektral sinflarga mansub bo'lgan yulduzlarda temperatura bir necha o'n million gradus kelvinga tengligi sababli ularni energiya ajratishi protonlarning geliyga aylanishi uglerodli siklli yadro reaksiyalari hisobidan bo'ladi. Oldingi spektral sinflarga mansub bo'lgan yulduzlarning yorqinligini kattaligi shu bilan tushintiriladi[10].

Shunday qilib qayd qilishi mumkinki, Gersupprung-Ressel diagrammasini turli joylarida joylashgan yulduzlar bir-biridan o'zlarining ichki tuzilishi bilan farq qiladi. Bunday xulosani turli xarakteristikali gaz konfigurasiyalari uchun o'tkazilgan nazariy hisob-kitoblar tasdiqlaydi.

Gersupprung-Ressel diagrammasining yuqori qismida joylashgan yulduzlar massasi va radiusi Quyosh massasi va radiusidan katta bo'lgan yulduzlar bo'lib, shuning uchun ularning temperaturasi keyingi sinflarda joylashgan yulduzlar temperaturasidan ko'p marotiba kattadir, shuning uchun bunday yulduzlardan termoyadroenergiyasining ajralishi uglerodli sikl orqali vujudga keladi. shuning uchun ularni yorqinligi yuqori va evolyusiyalanishi ham tez amalga oshishi kerak. Bundan asosiy ketma-ketlikni yuqori qismida joylashgan yulduzlar yosh yulduzlar bo'lishi kerak degan xulosa kelib chiqadi. Uglerodli siklda ajraluvchi energiya temperaturaning juda yuqori darajasiga ($\sim T^{20}$) proporsional bo'lganligi uchun (stefan-Bolsman qonuniga ko'ra yorug'lik oqimi T^4 qonun bilan oshadi) nurlanish uglerodli siklda hosil bo'lgan energiyani barchasini olib o'tishga ulgurmaydi. shuning uchun qolgan energiyani muhitni o'zi o'tkazishi kerak. Muhit aralashishga kirishadi va asosiy ketma-ketlikning massiv yulduzlarda, markaziy konvektiv sohalari paydo bo'ladi. Massasi Quyosh massasidan 10 marotiba katta bo'lgan yulduzlarning markaziy konvektiv zonalarining radiusi, yulduz radiusining to'rttdan bir qismiga teng bo'ladi va markazda muhit zichligi yulduz o'rtacha zichligidan taxminan 25 marotaba katta bo'lali. konvektiv yadroni o'rab olgan yulduz sohasi nurli muvozanatda bo'ladi.

Yulduzlar asosiy ketma-ketligining quyi qismida joylashgan yulduzlar tuzilishiga ko'ra Quyoshga o'xshashdir. Proton-proton siklida ajraluvchi energiyaning temperaturaga bog'lanishi xuddi yorug'lik oqimining temperaturaga bog'lanishidek bo'ladi. shuning uchun ham bunday yulduzlarda markaziy konvektiv zonalar bo'lmaydi. Ularda tashqi cho'zilgan konvektiv zonalar bo'ladi. Yulduz qancha sovuq bo'lsa, uning konvektiv sohasi shuncha chuqurroqga konveksiya bo'ladi. Quyoshda hammasi bo'lib 2% fotosfera ostidagi qatlam konvektiv soha tomonidan egallangan bo'lsa, massasi $0,6m_{\odot}$ bo'lgan kv karliklarda konveksiyaga uning 10% massasi qatnashadi.

Subkarliklar og'ir elementlari juda kam bo'lganligi bilan ajraluvchi yulduzlardir. Yulduzlarning noshaffofligi og'ir elementlar ulushiga proporsional bo'ladi. kuchli ionizasiyalangan plazmada yengil elementlar barcha elektronlarni yo'qotganligi sababli, atomlar kvantlarni yuta olmaydi. Kvantlar faqatgina og'ir elementlarni atomlari tomonidan ham hamma elektronlarini yo'qotganligi sababli yutiladi. subkarliklar galaktikaning boshlang'ich evolyusiyasi davrida paydo bo'lgan qari yulduzlardir.

Qizil gigantlar o'ta bir jinsli bo'lmagan strukturaga ega bo'lgan yulduzlardir. Bunday xulosaga asosiy ketma-ketlikdagi yulduzlarni strukturasi ko'rib kelish mumkin. Bunday yulduzlarni markaziy oblastida mavjud bo'lgan vodorodni yonib geliyga aylanishidan keyin yadro reaksiyalari sohasi yulduz periferiyasiga tomon ko'chadi. Natijada yulduz ikkiga bo'linadi. Markaziy Geliyli yadro bu yerda vodorod bo'lmaganligi uchun yadro reaksiyalari bo'lmasa, yadro reaksiyalaridan tashqaridagi sohada esa bor, lekin temperatura pastligi sababli yadro reaksiyalari bo'lmaydi. Boshlang'ich vaqtda yadro reaksiyalari sohasida bosim markaziy geliyli sohasi bosimidan katta, shuning uchun markaziy soha qisila boshlaydi va gravitasion energiyaning ajratib qiziydi va siqilish gaz ayniguncha davom topadi (aynigan gazning bosimi temperaturaga bog'liq bo'lmaydi). Aynigan gazning bosimi tashqi bosimni muvozanatlaganda markaziy geliyli yadroda zichlik $\sim 350 \text{ g/sm}^3$ yetadi. Qizil gigantlarni taxminan 70% (massasi bo'yicha) tashqi qismi konvektiv sohani hosil qiladi.

Oq karliklar yuqorida ko'rib chiqqan qizil gigant yulduzlarning asosiy xususiyati markazida aynigan Geliy gazidan iborat yadrosi borligidir. Bunday obyektlar Gersprung-Ressel diagrammasini pastki o'ng burchagiga joylashgan bo'lib,

$10^{-2} \div 10^{-3} R_{\odot}$ o'lchamiga ega bo'ladi. Ularning yorqinligi juda pastdir. shunday qilib oq karliklar o'zlarining termoyadro energiya zapasini tamom qilgan zichligi yuqori, yorqinligi past yulduzlardir. Ba'zi oq karliklarga kuchli magnit maydoniga ega bo'lganliklari sababli (10^8 erstedgacha) polyar yulduzlar deyiladi[3].

Qisilayotgan yulduzning massasi ma'lum chegaraviy massadan katta bo'lganida hatto aynigan gazning ham bosimi tashqi gravitasiyani kompensasiyalay olmaydi. Bunday yulduz yana siqiladi. Siqilish atomlarning elektronlari yadro ichiga kirib proton bilan qo'shilishib neytronga aylanguncha malga oshadi. Natijada muhiti faqatgina neytronlardan tashkil topgan yulduz paydo bo'ladi, bunday yulduzga neytronli yulduz deyiladi. Neytronli yulduzlar tashqi qobiqqa ega bo'lib, qobiq temir va Geliydan tashkil topgan bo'ladi. Neytronli yulduzlarni radiuchi taxminan 10 km ga, qobig'ining qalinligi taxminan 1 km ga teng bo'ladi. Neytronli yulduzlarda bosim shu darajada yuqori bo'ladiki, yadrolar nuklonlargacha kichrayib muhit neytronli suyuqlikdan iborat bo'ladi. Neytronli yulduzlarni radiusi taxminan 1 km bo'lgan markaziy qismi qattiq holatda bo'lishi mumkin. Oddiy yulduzni oddiy yulduzgacha siqilishi natijasida uning magnit maydoni 10^{12} erstedgacha oshadi. Agar yulduzning massasi bir necha Quyosh massasidan katta bo'lganida hatto aynigan neytronlarni bosim uchi ham gravitasiya kuchini muvozanatlay olmaydi. Natijada yulduz yana siqiladi. siqilayotgan yulduzning radiusi ma'lum chegaraviy radius, Shvarsild radiusidan kichik bo'lganida yulduz gravitasiya kuchi shu darajada oshib ketadiki uni hatto yorug'lik fotonlari ham tashlab chiqa keta olmaydi. Natijada qora tuynuk deb ataluvchi, mavjudligi nazariy isbotlangan obyektlar paydo bo'ladi.

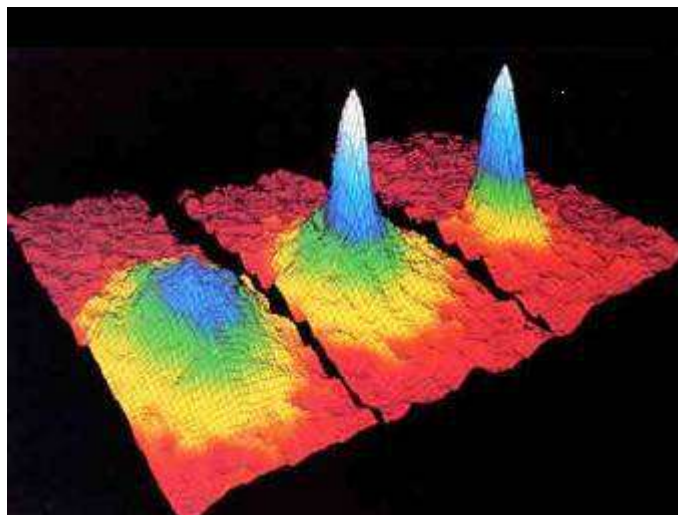
§5.2. Eynshteynning tortilish nazariyasi

Eynshteyn tortilish nazariyasi, Nyutonning tortilish nazariyasidan qanday farq qilishini aniqlash uchun sferik aylanishga ega bo'lmagan sayyorani ko'rib chiqib, uning yuziga erkin tushuvchi jism tezlanishini ko'rib chiqamiz. Planetaning massasini M bilan belgilaymiz. Nyutonning

tortilish nazariyasiga kura $F_H = G \frac{Mm}{R^2}$ bo'lib, bunda G - tortilish doimiysi,

R - planetaning markazidan m massali jisimgacha bo'lgan masofadir. Planetaning yuziga jism erkin tushish tezlanishi $a_H = \frac{F_H}{m} = G \frac{M}{R^2}$ bo'ladi.

Eynshteyn tortilish nazariyasi boshqa formulalarga olib keladi. Bu



nazariyaga ko'ra

$$F_g = \frac{GMm}{R^2 \sqrt{1 - \frac{2GM}{C^2 R}}}; \quad a_g = \frac{GM}{R^2 \sqrt{1 - \frac{2GM}{C^2 R}}} \quad (5.5)$$

bo'ladi, bunda c - yorug'likning vakuumdagi tezligi. Eynshteyn formulalari Nyuton formulalaridan, maxrajda turgan ildiz bilan farq qiladi. Ildiz ostidagi $r_g = \frac{2GM}{c^2}$ ga gravitasion radius yoki shvarshild radiusi deyiladi. Kosmik obyektning radiusi $R \gg r_g$ bo'lganda Eynshteyn formulalari Nyuton formulalariga mos kelib, R - ning qiymati r_g qiymatiga teng bo'lganda Eynshteyn formulalari Nyuton formulalaridan katta farq qiladi. r_g ni ifodasidan ko'rish mumkinki, uning qiymati kosmik obyektning massasiga to'g'ri proporsional bo'lib, xatto gigant massalar uchun ham kichkinadir. Masalan, Quyosh massasi uchun $r_g \approx 3$ km ga teng bo'lsa, Yer uchun $r_g \approx 1$ cm ga tengdir. Kosmik obyektlarning radiusi ularning gravitasion radiusidan juda kattadir. Masalan, Quyoshning radiusi 700000 km ga teng bo'lsa, Yerning radiusi 7400 km ga tengdir.

Shunday qilib, (5.5) formuladagi ildiz tortilishni o'rganishda, obyektning yuzida va

undan tashqarisida (vakuumda) birga tengdir. Odatdagi sharoitlarda Nyuton formulalari Eynshteyn formulalaridan kam farq qiladi.

Agar R - ning qiymati r_g qiymatiga yaqinlashsa, Eynshteyn formulasiga ko'ra tortilish cheksizlikga yaqinlashadi.

Eynshteyn nazariyasining ma'nosi shundan iboratki, u fazoning geometrik xususiyatlarini va vaqt o'tishini gravitasiya kuchlari bilan bog'laydi. Bunday bog'lanish murakkab va turli tumandir. Ikkita muxim xolatni qayd qilamiz.

Birinchidan, Eynshteyn nazariyasiga ko'ra uzokdagi kuzatuvchiga ko'ra vaqt kuchli gravitasiya maydonida undan uzoqdagi gravitasiya kuchsiz vaqtga ko'ra sekinroq o'tadi" $\tau = t \sqrt{1-r_g/R}$, bunda t - gravitasiya maydonidan uzokdagi vaqt, τ - tortiluvchi massa markazidan R masofada o'lchangan vaqt.

Ikkinchidan, tortilishni kuchli maydonidan fazoning geometrik xususiyatlari Evklid geometriyasi yordamida emas, balki Riman geometriyasi yordamida ifodalanadi. Bundan odatdagi, masalan aylana uzunligiga va uning radiusi orasidagi bog'lanish o'rinli bo'lmaydi degan $\ell \neq 2\pi R$ xulosa kelib chisadi. Evklid va Evklid bo'lmagan geometriyalar orasidagi nisbat, tekislikdagi geometriyalar va egrilangan tekislikdagi geometriyalar orasidagi nisbat kabidir.

Tortilish maydonidagi geometriya noevklid bo'lganligi sababli (5.5) formulada vaqt orasida R nima ekanligini aniqlashimiz kerak. Evklid geometriyasida R sifatida aylana uzunligini 2π ga nisbatiga tushuniladi. R kattalik (fazoning egrilanganligi sababli) planetaning markazidan aylanagacha masofa emas. Aylananing uzunligini tortiluvchi massa markazidan uzoqlashish birligi sifatida qabul qilish bir nechta qulaylikga ega. Birinchidan R ni o'lchash uchun tortiluvchi massa markaziga yaqinlashishi shart emas. Oxirgi juda muximdir, masalan Yerning ekvatorini uning markaziga yaqinlashmasdan o'lchash mumkin. Yer uchun, uning markazigacha bo'lgan masofani o'lchash shart emas, chunki uning tortilish maydoni kuchli emas va katta aniqlik bilan Evklid geometriyasi o'rinlidir, Yerning ekvatori aylanasi uzunligi bo'lingan 2π uning markazigacha bo'lgan masofaga tengdir. O'ta zich yulduzlarda, tortilish maydoni kuchli bo'lganda bu bunday emas, turli metodlar yordamida aniqlangan radius bir-biridan katta farq qilishi mumkin. Bundan tashqari ko'p xollarda

tortilish markaziga yetish prinsipial jixatdan mumkin emas.

Ikkinchidan aylananing uzunligi bo'lingan 2π formulalari oddiy yoziladi. Aylananing nuqtalari tortilish markazidan bir xil masofada joylashgan bo'ladi, egrilanishi tortilish ta'siri bir xildir. Agar markazdan masofani tug'ridan tug'ri o'lchasak, u xolda turli tortilishi oblastlarini o'tishga tug'ri kelib, fazoning egrilanishi turlichaligiga ishonch xosil qilish mumkin va barcha formulalar murakkablashganini ko'ramiz[10].

§5.3. Qopa tuynukda fazo va vaqt xususiyatlari

Shunday qilib, Eynshteyn nazariyasiga ko'ra jismning radiusi uning gravitasion radiusiga teng bo'lganda, undan xatto yoruglik kvantlari xam chiqib ketaolmaydi, obyekt ko'rinmas bo'ladi. Obyektning radiusi $R=r_g$ bo'lganda tortilish kuchi uning yuzida cheksiz katta va shuning uchun erkin tushish tezlanishi xam cheksiz katta bo'ladi. Bu nimalarga olib kelishi mumkin[4]?

Bu savolga javob berish uchun nima uchun odatdagi yulduzlar va planetalar markaziga qarab tortilish kuchi ta'sirida siqilmasdan, muvozanatli jism ekanligini eslaymiz.

Bunday jismlarni markazga qarab siqilishiga muxutning ichki bosim kuchlari qarshi turadi. Yulduzlarda bu yuqori temperaturali gaz bosim kuchi bo'lib, uni kengaytirishga xarakat qiladi. Obyektni markazga qarab siquvchi va unga qarama-qarshi turuvchi kuchlar muvozanatda bo'ladi. Tortilish kuchiga qarshi turuvchi kuchlar muxutning xolatiga uning bosimi va temperaturasiga bog'liq bo'ladi. Bunday kuchlar jism siqilishi bilan oshadi. Lekin jism chegaraviy (cheksiz katta bo'lmagan) zichligacha siqilganda, ular xam chekli bo'lib qoladi. Tortilish kuchlar boshqacha bo'ladi. Jismning radiusi uning gravitasion radiusiga teng bo'lganda, tortilish kuchlari cheksizlikga aylanadi. Bunda jismning zichligi chekli bo'lsa xam juda katta bo'ladi. Bundan bosim kuchi xam chekliligi kelib chiqadi. Bundan tortilishning cheksiz katta kuchini bosim kuchi muvozanatlay olmasligi kelib chiqadi. Tortilish kuchi ta'siri ostida jism siqila boshlaydi.

shunday qilib, Eynshteyn nazariyasidan quyidagi xulosa kelib chikadi:

gravitasion radiusga ega bo'lgan siferik jism markaziga qarab siqilishi lozimdir. Jismning radiusi gravitasion radiusga teng bo'lganda tortilish kuchi cheksizlikga teng bo'lishini aniqladik, gravitasion sfera ichida kuch qanday bo'ladi. Xozirgacha biz gravitasion sferadan tashqari sirtida tortilish kuchi tug'risida gapirdi. Tortilish kuchi xarakat xolatiga bog'liq bo'ladi. Ma'lumki, erkin tushishda jism vaznsizlik xolatida bo'ladi. Erkin tushayotgan jismda umuman gravitasion kuch bo'lmaydi. shuning uchun qisilayotgan jism sirtida (shvarsshild sferasining tashqarisida xam ichkarisida xam) Xech qanday tortilish quchi sezilmaydi. Tortilish tufayli tortilayotgan jism xech qanday sharoitda xam to'xtamaydi. shvarsshild sferasi ichkarisida xam. Xar qanday zarra yoki jism tortiluvchi markazdan, gravitasion radiusdan kichik masofada joylashgan bo'lsa, u markazga tushadi. Demak, jismning o'lchami shvarsshild sferasiga yaqinlashganda uning gravitasion tortilish kuchi oshib ketib, jism bu kuch ta'siri ostida ushlab bo'lmaydigan darajada siqiladi. Bu jarayonga gravitasion kollaps jarayoni deyiladi[15].

Shunday qilib qayd qilish lozimki, jism gravitasion sferagacha siqilsa, bunday jism keyinchalik o'zi ushlab bo'lmaydigan darajada cheksiz siqiladi. Natijada qora tuynuk deb ataluvchi obyekt xosil bo'ladi. Eynshteyn nazariyasiga ko'ra kuchli gravitasion maydonda vaqt sekinlashadi. Bundan kuchli tortilishi maydonida qanday jarayon o'tmasin, uzoqdagi kuzatuvchi bu jarayonni sekinlashgan xolda ko'riladi degan xulosa kelib chiqadi.

Masalan kuchli tortilish maydonida atomlarning tebranishlari natijasida nurlangan yorug'lik uzoqdagi kuzatuvchiga qizarib, ya'ni chastotasi kamayib keladi. Bu effektga Dopler effekti yoki gravitasion qizilga siljish effekti deyiladi. Bu effekttni tekshirish Eynshteyn nazariyasini tekshirish yo'llaridan biridir. Qayd qilish kerakki, vaqttni sekinlashishi yoki yorug'likni qizarish nurlanish oblasti kora tuynuk chegarasiga qancha yaqin joylashgan bo'lsa shuncha kuchli bo'ladi. U yerda vaqt o'zini chopishini sekinlashtiradi, qora tuynukda uzoqdagi kuzatuvchi uchun vaqt to'xtaydi.

Vaqtning sekinlashuvi va Dopler effekt birgalikda shunga olib keladiki, yulduzning sirti shvarsshild sirtiga yaqinlashgan sari uni uzoqdagi kuzatuvchi qizargan va intensivligi kamaygan xolda ko'radi va borib-borib u ko'rinmaydigan

bo'ladi. Yulduzning yorqinligi nolga teng bo'ladi. Bunda yulduzni so'nishi uzoqdagi kuzatuvchi uchun birdaniga amalga oshadi. Masalan, massasi Quyosh massasiga teng va ikki gravitasion o'lchamgacha siljigan obyekt uzoqdagi kuzatuvchi uchun sekundning mingdan bir ulushida so'nadi.

Sovugan yulduzning gravitasion sathini radio lokasion metod yordamida ham topish mumkin emas, chunki radiosignallar qora tuynuk tomonidan yutiladi.

§5.4. Osmon mexanikasi qora tuynuk maydonida.

Nyuton nazariyasiga ko'ra, xar qanday jism yulduz gravitason maydonida konusning biror kesimi (parabola, giperbola, ellips) orqali xarakat qiladi. Qora tuynukdan uzoqda tortilish maydoni kuchsiz, shuning uchun Nyuton mexanikasi yordamida katta aniqlik bilan ifodalanadi. shuning uchun u yerda Nyuton osmon mexanikasi qonunlari o'rinli bo'ladi. Qora tuynukdan yaqinlashgan sari Nyuton mexanikasidan oshib boradi.

Qopa tuynukda jismlar xarakatining trayektoriyasi konik kesimlaridan katta farq qiladi. Nyuton nazariyasiga ko'ra jismning tezligi ikkinchi kosmik tezlikdan kichik bo'lsa, u ellips orkali xarakat qilishi kelib chikadi. Ellipsning tortiluvchi markazga nisbatan yaqin joylashgan (periastr) va uzoq joylashgan (apoastr) nuqtalari bo'ladi. Eynshteyn nazariyasiga ko'ra, ikkinchi kosmik tezlikdan kichik tezlik bilan xarakat qilayotgan jism orbitasida apoastr va periastr nuqtalari mavjud bo'lib, lekin orbita ellips emas, jism qora tuynukga gox, yaqinlashib, gox, uzoqlashib xarakat qiladi.

Nyuton nazariyasiga ko'ra, aylana buyicha xarakat markaziy jismdan xar qanday masofada bo'lishi mumkin. Eynshteyn nazariyasiga ko'ra, bunday emas. Markazga qancha yaqinlashsa aylana bo'ylab xarakat tezligi shuncha oshadi. $\sim 1,5r_g$ masofada aylana buyicha xarakat tezligi yoruglik tezligiga taxminan teng bo'ladi. Qopa tuynukga bundan yaqin masofada jismning aylanma xarakati bo'lishi mumkin emas, chunki markazdan qochma kuch tortilish kuchini muvozanatlash uchun jismning tezligi yorug'lik tezligidan katta bo'lishi kerak.

Nyuton mexanikasi ko'ra, tortiluvchi jismga koinotdan yaqinlashgan xar qanday jism markaz atrofida aylana, parabola yoki giperbola bo'yicha xarakat qilib, markaziy

jismga to'qnashmasa yana koinotga uchib ketadi-gravitasion ushlab bo'lmaydi. Qora tuynuk maydonida boshqacha bo'ladi. Tushunarliki, koinotdan uchib kelgan Jism markaziy jismdan katta masofada uni aylanib o'tsa (bir necha gravtasion radiusdan katta) jismning trayektoriyasi aniq konik kesimda iborat bo'ladi. Agar jism qora tuynukga yaqinlashsa, uning trayektoriyasi konik kesimlarga o'xshash bo'lmaydi. Agar qora tuynukdan masalan, $2rg$ masofada yorug'lik tezligidan kichik tezlik bilan aylanma xarakat qilsa, u qora tuynuk atrofida bir necha marotaba aylanib keyin koinotga ketadi. Agar jism trayektoriyasi gravitasion sferaga juda yaqin kelsa, u gravitasion ushlabga uchrab qora tuynuk tomonidan yutiladi[10].

Biz yuqorida qayd etgan etdikki, Nyuton nazariyasiga ko'ra ikkinchi kosmik tezlik bilan xarakat qilayotgan jism koinotga uchib keladi. Qora tuynuk atrofida jism ikkinchi kosmik tezlik bilan xam gravitasion satx, buyicha xarakat qilayotgan bo'lsa xam qora tuynuk tomonidan ushlanadi.

Jism qora tuynuk maydonida xarakat qilayotganda gravitasion nurlanish vujudga keladi. Bunday nurlanish xosil bo'lishi Eynshteyn nazariyasidan kelib chiqadi. Bunday nurlanish massiv jismlarni tezlanishi bilan xarakat qilganida xosil bo'lishi kerak. Xususi xolda yulduz va qora tuynuk atrofida xarakat qiluvchi jism gravitasion to'liqlarni nurlanishi kerak.

Bunday to'liqlar energiya olib ketadi. Gravitasion nurlanishni intensivligi xarakatdagi jism massasiga va markazgacha bo'lgan masofaga bog'liq bo'ladi. Gravitasion to'liq orqali energiyani nurlash jismlar orasidagi masofani borgan sari kamayishiga olib keladi. Odatdagi astronomik situatsiyalarda gravitasion to'liqlar orqali energiyani nurlash juda kichikdir. Masalan Quyosh atrofida sayyoralarni aylanishi natijasida ~ 10 erg/s energiya nurlanadi, bu Quyosh tomonidan nurlayotgan yorug'lik energiyasidan 10 marotaba kichikdir. Lekin ba'zi xollarda gravitasion to'liqlar orkali energiya nurlanishi yetarlicha katta bo'lishi mumkin.

Jismning qora tuynuk atrofida aylana buylab xarakat qilib, gravitasion to'liq sifatida energiya nurlanib, qora tuynukga yaqinlashishi nazariyaning ko'rsatishicha mc^2 dan 0,6 % ni tashkil etadi (bunda m - jism massasi). Bunda jismning berilgan massasida xar qanday termoyadro energiyasida nurlanadigan energiyasidan xam

kattadir. Demak, qora tuynukni energiyani xosil qiluvchi mashina sifatida foydalanish mumkinmi degan savol tug'iladi. Lekin, bunday mashina deyarli foydasiz degan xulosa kelib chiqadi. Lekin laboratoriyada moddalarning Beshinchi agregat xolatini ko'rsatilishi va bu asosda gravitasion qora tuynuklar kuzatilishi qora tuynuklarga asoslangan energiyadan kelgusida foydalanish mumkinmi degan savolni tug'diradi.

§5.5. Aylanuvchi qora tuynukning tortilish maydoni.

Aylanuvchi qora tuynuklar atrofida «girdobli» gravitasion maydon bo'lishi kerakligi nazariyasidan kelib chiqadi. Qora tuynukdan uzoqda girdob kuchsiz, yaqinda shunday kuchliki, yangi effektlarga olib keladi. Aylanuvchi qora tuynuk atrofida barcha jismlar, xatto fotonlar xam tuynuk atrofida aylanadi. Bunday oblayet tashqi chegarasiga statiklik chegarasi deyiladi. statiklik chegarasi ichkarisida xosil bo'lgan xodisalar qora tuynuk tomonidan yutiladi, tashqarisida xosil bo'lgan xodisalar uzoqlashishi mumkin. statiklik chegarasi rg -ga tengdir. Umuman qora tuynukning xodisalar gorizonti statiklik chegarasidan pastrokda joylashgan bo'ladi. Qora tuynuk statiklik chegarasi va xodisalar gorizonti orasidagi fazoga ergosfera deyiladi. statiklik chegarasi va xodisalar gorizonti qora tuynukning kutblarida bir-biriga tegadi.

Aylanuvchi qora tuynukga tushgan jism avval xarakat yo'nalishini qora tuynuk aylanishi yo'nalishi tomon o'zgartirib, xodisalar gorizontiga yaqinlashadi. Tashqi kuzatuvchiga jism chiqargan yorug'lik yanada qizarib, yanada intensivsiz bo'lib borib, keyinchalik to'la so'nadi va kuzatuvchi uchun ko'rinmas bo'ladi. Gorizontning qaysi qismiga tushmasin jism bir xil burchak tezlikga ega bo'ladi[9].

Xodisalar gorizontiga tushuvchi jismlarning burchak tezligi $\Omega = \frac{4\pi I}{mS}$ bo'lib, I - undan qora tuynuk xosil bo'lgan jism impuls momenti, m -massasi, s - gorizontining satxi. Berilgan massani qora tuynukning impuls momenti istalgancha katta bo'lmaydi. I va Ω ning maksimal qiymati qora tuynuk xosil bo'lishida uning ekvatorial qismini chiziqli tezligi yorug'lik tezligidan katta bo'lmasligi bilan anio'danadi $\Omega_{\max} = c/r_g$. Massasi Quyosh massasiga qora tuynuk uchun $\Omega_{\max} = 10^{-5} \left(\frac{1}{c} \right)$. Aylanuvchi qora tuynuk tomonidan zarralarni ushlab qolishi, aylanmaydigan qora

tuynuk tomonidan zarralarni ushlashidan bir oz farq kiladi. Aylanuvchi qora tuynuk tomonidan uning aylanishiga qarama-qarshi tomondan aylanuvchi zarralarni ushlashi aylanishi yo'nalishi buyycha xarakat qiluvchi zarralarni ushlashidan osonroq bo'ladi. Aylanuvchi gravitasion girdob, girdobga qarama-qarshi yo'nalishda xarakat qiluvchi zarrani tormozlab, osonroq ushlaydi (yutadi). Misol uchun qora tuynuk ekvatorida aylanuvchi fotonni ushlab qolishini ko'rib chiqamiz. Qora tuynuk aylanishi yo'nalishida xarakat qiluvchi foton uchun $I_{yutash.1} = \frac{1}{2}r_g$; qora tuynuk aylanish yo'nalishiga teskari yo'nalishda aylanuvchi foton uchun esa Aylanmaydigan qora tuynuk uchun mustaxkam aylanish orbitasini radiusi $3r_g$, u buyicha xarakat qilayotgan zarracha tezligi $s/2$ ga tengdir. Eng muximi bu orbitaga tushishi uchun m massali zarra quyidagi energiyasini ($\Delta\varepsilon = 0,06mc^2$) gravitasion nurlanish sifatida bo'lishi kerak.

Maksimal katta tezlik bilan aylanuvchi qora tuynuk uchun oxirgi aylana shakldagi orbita ekvatorial tekislikda gorizontga yaqin egrosferada joylashgan bo'ladi. Lekin bu xolda zarracha qora tuynukni faqat aylanish yo'nalishida xarakat qilishi mumkin. Bu orbitaga tushgan zarra energiyasi nisbatan katta bo'lib, $\Delta\varepsilon = 0,42\Delta mc^2$ ni tashkil qiladi. Qora tuynukni aylanish yo'nalishiga teskari xarakat qiluvchi zarra oxirgi mustaxkam orbitasi egrosferadan tashqarida joylashgan bo'lib, unga tushgan zarra $\Delta\varepsilon = 0,04mc^2$ energiya nurlaydi. Aylanuvchi qora tuynuk massasi uning o'lchamlari (gorizonti yuzasi s) va aylanish energiyasi bilan aniqlanadi.

$$m = \sqrt{\frac{8c^2}{16\pi G^2} + \frac{4\pi I^2}{Sc^2}}$$

Agar qora tuynuk aylanmaydigan bo'lsa ($I=0$), unda uning massasi m qora tuynukni o'lchamlari bilan topiladi. Qora tuynukni mumkin bo'lgan aylanish tezligida m ni aniqlashni ildiz ostidagi ikkinchi xadning qiymati birinchi xadga teng bo'ladi.

§ 5.6. Qopa tuynuklar qanday kuzatiladi.

Ma'lumki, qora tuynuklarni to'g'ri kuzatishlardan ko'rish mumkin emas, ularni mavjudligi atrofidagi boshqa obyektlarga ko'rsatadigan ta'sirlariga ko'ra yoki kuchli

Rentgen nurlanishga ko'ra kuzatiladi. Qo'shalok yulduzlarni kuzatishda bitta yulduz ko'rinib, ikkinchi ko'rinmaydigan partner yulduz qora tuynukdir. Bu ikki yulduz shunday yaqin joylashgan bo'ladiki, ko'rinmaydigan massa ko'rinadigan yulduzni muxitini surib yutayotgan bo'ladi. Ba'zi xollarda ko'rinmas massagacha bo'lgan masofani, ko'rinuvchi yulduzni ko'rinmas atrofida aylanish davrini va unga ko'ra ko'rinmas massa kattaligini topish mumkin bo'ladi. Bunday modelga birinchi kandidat 70-yillar boshida kuzatilgan qo'sholoq yulduzlar xisoblanadi. Bu juftlik oqqush yulduzlar turkumida joylashib, kuchli rentgen nurlanishi manbaidir. Bu juftlikda yashil yulduz, katta extimoliyat bilan qora tuynuk (massasi 16 Quyosh massasiga teng) aylanma xarakat qiladi. Boshqa juftlik (V 404) ko'rinmaydigan 12 Quyosh massasiga teng massaga egadir. Yana bitta kuchli Rentgen nurlanish manbai katta Magellan tumanligiga joylashgan bo'lib, massasi 9 Quyosh massasiga tengdir. Bizning Galaktikamizning markaziy oblastidagi xarakat parametrlarini 1992 yildan 1998 yilgacha ulchashlarni o'tkazib, Germaniyalik astrofiziklar 200 yulduzni kuchish tezliklarini katta maxsus spektrometr yordamida o'lchadilar. Natijalarning ko'rsatishicha, eng katta kuchish tezligiga streles A yaqinidagi yulduzlar ega. Oldinroq o'tkazilgan izlanishlar natijalariga ko'ra streles A obekti qora tuynuk guruxiga kiritilgan edi. streles A obyektidan xammasi bo'lib, 5 yorug'lik yili masofada joylashgan yulduzlar markaz atrofida 1000 km/s tezlik bilan buriladilar. Xisoblashlarni ko'rsatishicha bu qora tuynukni massasi 2,6 million Quyosh massasiga teng bo'lib, zichligi 1 yorug'lik yili kubida 2 trillion Quyoshni joylashtirish mumkin bo'lgan zichlikga ega. Bunday xususiyatga bir necha million yilda uning ta'sir sferasiga tushgan barcha muxitlarni yutgan qora tuynuk ega bo'lishi mumkin. Berilgan obyektни kuchliroq teleskop yordamida kuzatilishi ko'rsatadiki, obyektga yanada yaqinroq joylashgan yulduzning tezligi 3000 km/s ga teng bo'lib, markaziy obyektни massasi 2,7 million Quyosh massasiga tengdir. Bu natijalarning ko'rsatishicha Bizning Galaktikamizning markazida massasi 2,6+2,7 million Quyosh massasiga teng bo'lgan qora tuynuk joylashgandir.

Bir necha yil oldin Amerikalik va Yaponiyalik astrofiziklar uzlarining teleskoplarini Gonchix Psov yulduz turkumiga yo'naltirib, u yerdagi M10v spiral tumanligini tekshirdilar. Bu galaktika bizdan 20 million yorug'lik yili masofasida

joylashgan bo'lib, uni xatto oddiy teleskop yordamida kuzatish mumkin. ko'pchilik bu galaktikani odatdagi galaktikalar kabi xisoblar edilar. M10v galaktikani sinchiklab tekshirish uni bitta noyob xususiyati borligini aniqladi. Uning markaziy qismida tabiiy kvant generatori-mazer joylashgandir. Mazerlar gaz bulutlari bo'lib, unda molekulalar tashqi damlash ta'siri ostida mikro to'lqinlar oblastidagi radionurlarni chiqaradilar. Mazer katta aniqlik bilan joyini va bulut tezligini, natijada boshka jismlarini topish imkonini beradi. Yaponiyalik astrofiziklar M10v obyektini kuzatish uning qizik xususiyatini aniqladilar. Mazer boshka 0,5 yoruglik masofadagi markaz atrofida aylanadi. Bulut pereferik qisminy tezligi 4 million km 1 soatga tengdir. Bundan markazda juda katta massa joylashganligi kelib chikadi. Astrofiziklar faraz qiladilarki, markazda juda ko'p yulduzlar g'ujumi joylashgan bo'lib, ular gaz chang bilan o'ralganligi sababli bizga ko'rinmasdir. G'ujumdagi yulduzlar bir-biriga shunday yaqin joylashgan bo'lishlari kerakki, bir-biriga to'qnashishi natijasida ular tezda maydalanib ketishlari kerak edi, bundan bu markazda xam qora tuynuk joylashgan ekanligi kelib chiqadi.

Xozirgi vaqtda astrofiziklarni aniqlashlariga ko'ra eng massiv eng qari galaktikalarning xammasini markazida tuynuklar joylashgan bo'lishi extimoldan xoli emas.

Xulosalar

Ishda olingan ilmiy natijalarni quyidagicha xulosalar bilan bayon etish mumkin:

1. Moddalarni (bazonlar sistemasini) nanokelvingacha sovutilsa, ular beshincha agregat xolatta moddalarning Boze-Eynshteyn kondensat xolatiga o'tadilar.

2. Eynshteynning nisbiylik nazariyasidan kelib chiquvchi nixoyatda kuchli gravitasiya maydoniga ega bo'lgan kosmik obyektlar «qora tuynuklar» koinotda mavjud bo'lishi etimoldan xoli emas.

3. Qora tuynuklar juda katta massasiga ko'ra va juda kuchli Rentgen nurlanishiga ko'ra qayd qilinadi.

4. Beshinchi agregat holatdagi moddalardan foydalanib, laboratoriyada akustik qora tuynuklarni hosil qilib, ulardan Xoking nurlanishni kuzatilishi, haqiqatan ham gravitasion qora tuynuklar mavjudligini isboti bo'ladi.

5. Butun koinot temperaturasi $-2,7$ K bo'lgan relikt nurlanishi bilan to'ldirilganligi va laboratoriyada Boze-Eynshteyn kondensat xolatidagi modda yordamida, akustik qora tuynuklarni kashf etilishi ko'rsatadiki gravitasion qora tuynuklar muxiti, moddalarning Boze-Eynshteyn kondensat xolatida qondosh xolatda bo'lishligi ehtimoldan xoli emas.

Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati:

1. И.Д. Новиков, В.П. Фролов «Физика черных дыр», Москва и наука, 1986 г.
2. П.И. Бакулин и др. «Курс общей астрономии» Москва, Наука 1983 г.
3. И.Д. Новиков «Черные дыры во вселенной» Москва, Из-во «Знания», 1977 г.
4. O. Lahav et. al A sonic Black hole in density - inverted Bose - Einstein condensate // arXiv: 0906.1337 (7 June 2009).
5. «Физическая энциклопедия». Том - 1, Москва 1988 г.
6. С. Трансковский «Наука и жизнь», №1, 2002 стр. 15-16.
7. Эффект Бозе-Эйнштейновский конденсации О.В. Кибис, Соросовский образовательный журнал, 2000, №1.
8. Зельдович Я.Б. и др. «Теория тяготения и эволюция звезд», Москва, 1971 г.
9. Мизнер Ч. и др. «Гравитация», Т. 3, перевод с английского, М. 1977 г.
10. Ю.Фролов В.П. «Черные дыры и квантовые процессы в них», УФН, 1976, Т.118, в.3, С473.

