



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

ALISHER NAVOIY NOMIDAGI SAMARQAND

DAVLAT UNIVERSITETI

FIZIKA FAKULTETI

ASTROFIZIKA KAFEDRASI

5A – 140401 – ASTRONOMIYA (ilmiy tadqiqotlar yo'nalishi bo'yicha) mutaxassisligi

Qo'lyozma huquqida

UDK 520.16

ALIKULOV OLIMJON XUDOYBERDIYEVICH

MAGISTR

AKADEMIK DARAJASINI OLIH UCHUN YOZILGAN

DISSERTATSIYA

“YULDUZLARDA BO'LADIGAN TERMOYADRO

REAKSIYALARINI O'RGANISH”

Dissertatsiya ishini himoya

qilishga ruxsat etaman:

Astrofizika kafedrasi mudiri

_____dots. A. Q. Ajabov

” ____ ” ____ ” 2015 yil

Ilmiy rahbar:

_____dots. U. Z. Zoxidov

” ____ ” ____ ” 2015 yil

Samarqand – 2015 yil



MUNDARIJA

Kirish	3
I – BOB. Yulduzlar paydo bo'lish jarayoni to'g'risidagi umumiy ma'lumotlar	
1.1. § Yulduzlarning paydo bo'lishida yulduzlararo muxit, gaz, changning roli	6
1.2. § Yulduzlar paydo bo'lishining asosiy bosqichlari	10
1.3. § Yulduzlarning ichki tuzilishi	21
II – BOB. Yulduzlar evolyutsiyasining so'nggi bosqichi	
2.1. § Yulduzlarning paydo bo'lishida sodir bo'ladigan termoyadro reaksiyalar	29
2.2. § O'ta yangi yulduzlar, yulduzlar evolyutsiyasining so'nggi bosqichi	30
III – BOB. Yulduzlar evolyutsiyasining oxirgi bosqichida hosil bo'luvchi ob'yektlar	
3.1. § Relyativistik yulduzlarning akkretsiya jarayoni, ular nurlanish energiyasi manbai	42
3.2. § Oq karliklar	45
3.3. § Neytron yulduzlar	48
3.4. § Qora tuynuklar	53
3.5. § Yulduzlarning energiya manbalari	55
Xulosa	59
Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati	61



KIRISH

Koinotda eng ko'p tarqalgan ob'yektlar yulduzlar hisoblanadi. Kosmik muhit massasining qariyb 38 % ti ana shu gazli sharlarda taqsimlangandir. Yulduzlarning evolyutsiyasi bilan tabiatda mavjud bo'lgan deyarli barcha kimyoviy elementlarni paydo bo'lishi bog'liqdir. Shuning uchun yulduzlarni o'rganilishi nafaqat kimyoviy ob'jekt sifatida, balki materiyani hosil bo'lishini ma'lum bosqichini aniqlashda o'ta muhimdir.

Nazariy astrofizikani ko'rsatishicha yulduzlar qa'rida nukleosintez jarayonlari natijasida turli elementlar atom yadrolari hosil bo'ladi. Yuqori bosim va temperaturalarda bir elementlar zarralarning ikkinchisiga aylanish jarayonlariga termoyadro reaksiyalari deyiladi. Termoyadro reaksiyalari amalga oshishi uchun bir nechta ketma – ket o'tuvchi jarayonlar vujudga kelishi kerak:

Mavzuning dolizarbligi; Yulduzlarda bo'ladigan fizik jarayonlarni, termoyadro reaksiyalari va bu jarayonda hosil bo'ladigan elementar zarrachalarning tabiatini, yulduzlar nurlanishining energiya manbalarini o'rganish katta amaliy ahamiyatga ega.

Muammoning o'rganilganlik darajasi: Yulduzlarda bo'ladigan fizik jarayonlar to'g'risida ko'plab olimlar ilmiy tadqiqot ishlarini olib borgan. Shu jumladan X. Bete, K. Vaytszakerlarning termoyadro reaksiyasi sohasidagi ilmiy ishlaridan hozirgi kunda ham foydalanilmoqda. Shu bilan birga boshqa olimlarning ishlari bu ishlar bilan solishtirib o'rganish lozim deb hisoblanadi.

–Tadqiqot ishi Samarqand davlat universiteti qoshidagi astronomiya o'quv ilmiy markazida va astrofizika kafedrasida ilmiy – tadqiqot ishlari rejalari asosida bajarildi.

Mavzuning maqsadi va vazifasi: Yulduzlarda bo'ladigan fizik jarayonlarni o'rganish uchun quyidagi mavzular tahlil qilindi.



- Yulduzlarning gaz – chang va diffuz muhitdan paydo bo'lishi haqidagi ma'lumotlar bilan tanishish
- yulduzlarda sodir bo'ladigan termoyadro reaksiyaning boshlang'ich etapi
- yulduzlarning ichki tuzilishini o'rganish
- yulduzlarda bo'ladigan fizik jarayonlarning oxirgi etapini o'rganish
- termoyadro reaksiyalari natijasida hosil bo'lgan obyektlar
- yulduzlar nurlanishining energiya manbalari

Tatqiqot obyekti: Yulduzlarda bo'ladigan fizik jarayonlarni va termoyadro reaksiyalarini o'rganish.

Tatqiqot predmeti: yulduzlarda bo'ladigan termoyadro reaksiyasining oxirgi etapi.

Tatqiqotning ilmiy yangiligi va kuzatilayotgan natijalar: Dessertatsiya ishida yulduzlarda bo'ladigan termoyadro reaksiyalari to'g'risida ma'lumotlar jamlandi va tahlil qilindi. Yulduzlarning nurlanish manbalari to'g'risidagi gipotezalar taqqoslandi.

Himoyaga olib chiqiladigan asosiy holatlar.

- Yulduzlar evolyutsiyasi to'g'risida ma'lumotlar
- Yulduzlarda bo'ladigan boshlang'ich termoyadro reaksiyasi
- Yulduzlarda bo'ladigan termoyadro reaksiyalarning oxirgi etapi
- Yulduzlar nurlanishning energiya manbalari

Natijalarning e'lon qilinganligi: 1). Toshkent davlat iqtisodiyot universitetida 2015-yil, 14-mart kuni “ta’limning uzviyligi va uzliksizligini ta’minlash-soha taraqqiyotining muhim me’zoni” mavzusidagi Respublika ilmiy-

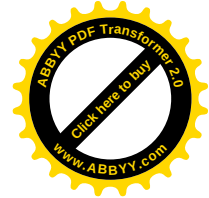


amaliy amaliy konferensiyada ma'ruza qilindi. 2). Samarqand pedagogik kadrlarni tayyorlash va malakasini oshirish institutida 2015-yil, 15-iyunda bo'lib o'tgan Respublika ilmiy anjumanida ma'ruza qilingan va ma'ruza materiallari chop qilingan.

Dissertatsiyaning birinchi bobida yulduzlarning paydo bo'lishida gaz chang, diffuz muhitning ro'li to'g'risida, Yulduzlar paydo bo'lishining asosiy bosqichlari to'g'risida ma'lumot jamlangan.

Dissertatsiyaning ikkinchi bobida Yulduzlarning paydo bo'lishida sodir bo'ladigan termoyadro reaksiyalar, o'ta yani yulduzlar, yulduzlar evolyutsiyasining so'nggi bosqichi to'g'risida ma'lumotlar keltirilgan. Dessertasiyaning uchinchi bobida Yulduzlar evolyutsiyasining oxirgi bosqichida hosil bo'luvchi obyektlar: oq karliklar, neytron yulduzlar, qora tuynuklar hamda yulduzlarning energiya manbalari to'g'risida ma'lumotlar keltirilgan.

Dessertasiya oxirida xulosa va foydalangan adabiyotlar ro'yxati keltirilgan.



I – BOB Yulduzlar paydo bo'lish jarayoni to'g'risidagi

umumiy ma'lumotlar

1.1.§. Yulduzlarning paydo bo'lishida yulduzlararo muhit, gaz, changning ro'li

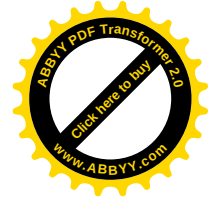
Inson bo'lmagan paytda ham yulduzlar osmonda porlab turgan. Shuni aytish kerakki har qaysi inson ham o'zining boshlang'ich astronomik ma'lumotlariga ega. Lekin fanning ming yullik rivoji davomida insoniyat oddiy lekin shu bilan birga ulkan ma'lumotlarni, jamlangan Yulduzlar – bu ko'proq Quyoshga o'xshash ob'ektlar bo'lib, lekin ular uzoq masofalarda joylashgan. Yulduzlargacha bo'lgan masofani birinchi bo'lib Nyuton aniqlagan. Buyuk ingliz olimidan 200 yil keyin yulduzlar joylashgan juda katta o'lchamdagi fazo absolyut bo'shliq ekanligi bizga ma'lum bo'ldi. Lekin bu masala XVIII – XIX asrlarda astronomlar uchun unchalik dolzarb masala emas edi, bu masala olimlarda qiziqish o'yg'otmadi, lekin yulduzlararo muhitda nurning yutilishi mumkinligini haqida masala bilan shug'ullanganlar. XX asr boshida nemis astronomi Gartmon yulduzlar orasidagi fazo bo'shliqlardan iborat kam zichlikka ega bo'lgan gaz bilan to'lgan degan fikrni ilgari surgan. Buning isboti spektral tahlil yordamida amalga oshirilgan. Gartmon spektral chiziqning to'lqin uzunliklari davriy ravishda unchalik katta bo'lmagan kattalikka goh bir tamonga, goh ikkinchi tamonga o'zgaradigan ikkilangan yulduz spektrini tadqiq etdi. Bunday o'zgarishlar davri aniq bir yulduzning ikkinchi yulduz atrofida aylanish davriga teng [1-4].

Spektral chiziqlar to'lqin uzunliklarining bunday davriy o'zgarishlariga sabab fizika laboratoriyasidan yaxshi ma'lum bo'lgan Doppler effekti hisoblanadi. Nurlanish manbai kuzatuvchiga nisbatan v tezlik bilan harakat qilsa chiziqning to'lqin uzunligi o'zgaradi agar nur chiqaruvchi manba kuzatuvchiga yaqinlashsa spectral chiziqning to'lqin uzunligi kamayadi, agar nur tarqatuvchi manba uzoqlashsa spectral chiziq qizil sohaga siljiydi. Bu vaqtda yulduz ravshanligi



o'zgaribdi, chunki o'z orbitasi bo'ycha davriy harakat qilayotgan yulduz goh bizga yaqinlashadi, goh uzoqlashadi, bu hodisa spektr chiziqlarning to'lqin uzunliklarining davriy siljishi bilan izohlanadi. Nemis olimining kashfiyoti shundan iboratki, u ba'zan ikkilangan yulduzlar spektrlarida to'lqin uzunliklari o'zgarmaydigan 2 ta yutilish chiziqlarini topdi. Ba'zi spektr chiziqlarida yuqorida aytilgan sababga ko'ra to'lqin uzunliklari davriy o'zgarib turadi. Qo'zg'almas chiziqlar ionlashgan kalsiyga tegishli bo'lib ular yulduzlar tashqi qatlamlaridan emas, balki yulduz va kuzatuvchi orasidagi qandaydir muhitning spektral chizig'i hisoblangan. Shunday qilib birinchi marta yulduzlar aro muhitning spektral chizig'i kuzatilgan edi.

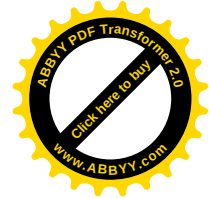
Deyarli 50 yil davomida yulduzlararo gaz asosan undagi yutilash chiziqlarini tahlil qilish yo'li bilan tadqiq etildi. Masalan, ko'pincha bu chiziqlar murakkab tuzilishga ega ya'ni bir – biriga yaqin joylashgan bir nechta komponentalardan iborat. Har bir bunday komponentalar yulduz nurlanishini yulduzlararo muhitning qandaydir ma'lum bulutidan yutilishi paydo bo'ladi. Bulutlar bir – biriga nisbatan 10 km/ s ga yaqin tezlikda harakat qiladi, bu Doppler tadqiqotiga ko'ra yutilish chiziqlari to'lqin uzunliklarining unchalik katta bo'lmagan siljishga olib keladi. Birinchi marta yulduzlararo gaz uning kalsiy chiziqlaridagi yutilishga qarab topilgan u gaz tarkibi boshqa yutilish chiziqlari bo'yicha, masalan natriyning ma'lum sariq chizig'i bo'yicha ham kuzatilgan. Yutilish chiziqlari intensivligini hamma vaqt ham kimyoviy elementning ko'pligi belgilamaydi. U ko'proq darajada ular orasidagi o'tishlar bu chiziqni ifodalaydigan mos atomning energetik sohalarining omadli joylashishi bilan aniqlanadi. Shunisi diqqatga sazovorki yulduzlararo gazda barcha atomlar va molekulalar eng pastda ya'ni quyi energetik satihda joylashgan. Gap shundaki, nurlanish yutilish yoki zarralar orasidagi to'qnashishi bilan bog'liq bo'lgan jarayonlar yulduzlararo muhitda juda kam ro'y beradi.



Atom ma'lum chastotadagi nurlanish yutishi mumkin eng past chastota rezonans chastotaga mos spektral chiziq – rezonans chiziq deb ataladi. Odatda rezonans chiziqlari juda intensiv bo'ladi. Kalsiyning spektroskopik xususiyati shundaki natriy kabi uning rezonans chiziqlari ko'pincha spektrning ko'rinish qismida joylashadi. Shu bilan birga boshqa elementlarning ko'pincha rezonans chiziqlari uzoq ultrabinafsha sohada joylashadi. Klassik misollar bo'lib kosmosda ko'p bo'lgan elementlar vodorod va geliy hisoblanadi. Vodorodda rezonans chizig'i to'liq uzunligi (bu mashxur Laymon – alfa chizig'i) $1216 \text{ \AA}$ ga geliyda yana ham qisqa $-566 \text{ \AA}$ ga teng. Shu bilan birga yutilish chiziqlari $2900 \text{ \AA}$ dan kichik sohada kuzatiladi. Astrofizika rivojlanishiga barcha kosmik ob'ektlarning ultrabinafsha qismi astronomlar tomonida tadqiq etilmasdi. Yaqindan boshlab uzoq ultrabinafsha sohadagi yulduz spektrlar olindi va Leymon – alfa yulduzlararo chizig'i hamda kislarodning (to'liq uzunligi $1300 \text{ \AA}$) va boshqa yulduzlararo atomlar rezonans chiziqlari qayd qilindi. Chalkashlik ro'y bermasligi uchun vodorod, geliy, kislorod, va boshqa elementalr spektral chiziqlari anchadan buyon yulduz va Quyosh spektrlarida kuzatiladi. Lekin bu holda rezonans chiziqlari emas balki sathlardan utishda spektral chiziqlar kuzatiladi. Lekin qizigan zich qo'zg'algan yulduz atmosferalarida yulduzlararo muhitda fizik sharoitlar umuman turlicha [5]

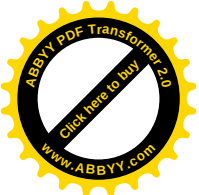
Yulduzlararo gazning kimyoviy tarkibi birinchi yaqinlashishda Quyosh va yulduzlar atmosferasi kimyoviy tarkibiga yaqin. Ularda eng ko'p elementlar vodorod va geliy hisoblanadi, shu bilan birga boshqa elementlarni aralashmasi ham bo'lishi mumkin. Qizig'i shundaki, yulduzlararo gazda kalsiy vodorodga nisbatan million marta kamroq.

Yulduzlartaro muhit optik usullar bilan tadqiq etish astronomlaridagi ajoyib yutuqlar bilan boshlanadi. Hozirgi paytdagacha (1083 yil) nisbatan bizga o'zining yulduzlararo gaz bulutlarining kimyoviy tarkibini eng ko'p to'la tadqiq etish Kopernik deb atalgan amerkaning mashhur astronomi tomonidan bajarilgan.



Yuqorida aytib o'tilganida asosiy (ko'pligi bo'yicha) elementlar rezonans chiziqlarining odatda spektrning ultrabinafsha qismida joylashgandi. Yorqinlikka nisbatan yulduzlari kuzatilib ularning ultrabinafsha spektrida vodorod (to'lqin uzunligi 1216 Å gat eng) Laymon – alfa chizig'i uglarod, azod, kislorod, magniy, kremniy oltingugurt, argon va organik va boshqa elementlarning yulduzlararo yutilish rezonans chiziqlarini va uning ionlari chiziqlari kuzatiladi. Bunda neytral bulutlar va Quyosh kimyoviy tarkibidagi real farqlar aniqlandi. Bu bilan yulduzlararo muhitni tadqiq etish yuqori sohaga ko'tarildi. Agar birinchi yaqinlashishda faqat chegaralangan yerdagi kuzatishlarga asoslanib yulduzlararo gaz kimyoviy tarkibi Quyosh atmosferasi kimyoviy tarkibi yuqoriroq yoki pastroq o'xshash deb hisoblanilgan bo'lsa endilikda hatto alohida bulutlar o'rtasidagi to'la real farqlar mavjudligi namoyon bo'lmoqda. Masalan magniy, xlor va vodorodga nisbatan yulduzlararo nisbatan 4 – 10 marta kam uchraydi. Yorqin yulduzlarga proeksiyalanuvchi 4 ta turli bulutlarning tarkibi Quyoshning kimyoviy tarkibidan chetlanishi kuzatilgan. Quyosh va yulduzlararo gaz ularning kimyoviy tarkibi haqida yaqqol tasavvur beradi. Xususan, qoraytirilgan gorizonta to'g'ri chiziqning pastida joylashadi [3-6]

Atomlar va ionlar bilan birga yulduzlararo gazda (ko'proq vodorod atomlarga nisbatan $\sim 10^{-7}$ miqdorda) molekulalar uchraydi. Optik astronomlar usullari yulduzlararo muxutda oddiy 2 atomni CH , CH^+ ($\pm$ ishora ionlashgan molekulani bildiradi) va CN molekulalar uchraydi. Fizika laboratoriyalarida odatda polosalarni birlashuvchi juda ko'p sondagi chiziqlar molekulalar spektrlari odatda bitta chiziqdan iborat chunki, ularning deyarli barchasi eng chuqur elektronlar tebranish va aylanish sohasida joylashgan. Bundan istasno bo'lib CN yulduzlararo molekulalar hisoblanadi. Ularda 40 – yil oldin 2 ta chiziq topilgan. Bu 2 ta sohaning yetarlicha zichligini bildiradi, u CN molekula CH , CH^+ molekulalarga qaraganda ancha yaqin joylashgan.



1.2. § Yulduzlar paydo bo'lishining asosiy bosqichlari

Hozirgi vaqtda biz koinotni 10-20 mlrd. yil yorug'lik yiliga teng bo'lgan masofasi masshtabigacha tuzilishi to'g'risida gapirishimiz mumkin. Biz ko'ramizki koinotning bu oblasti materiyaning juda kompakt konsentratsiyalashgan (sayyoralari bilan birgalikda galaktikalarni hosil qiluvchi yonuvchi va so'nuvchi yulduzlar sistemalari) qismlari va ular orasidagi juda katta bo'shliqdan tashkil topgan. Buning hammasi muhit va nurlanish bilan (neytronlarni qo'shgan holda) to'ldirilgandir. Muhit yulduzlarda va sayyoralarda asosan nuklidlar (Z dona proton va N dona neytronlardan tashkil topgan yadrolar) ko'rinishida ($Z=1$ vodoroddan tortib $Z=92$ urangacha bo'lgan 92 ximiyaviy element) konsentratsiyalashgan. Koinotning yadroviy tarkibining turli ko'rinishlari taxminan 300 ta nuklidgacha oqib kelib, fanning hozirgi darajasi bu nuklidlarni qanday paydo bo'lganligini va ularni taqsimlanishini tushuntira oladi.

Tabiiy sharoitda bu nuklidlar qanday paydo bo'lgan? Hozirgi vaqtda aniqlanishicha koinotning ximiyaviy elementlari yulduzlar evolyutsiyasi jarayonida paydo bo'lgan. Yulduzlar hosil bo'lishi nimadan boshlanadi? Hozirgi vaqtda aniqlanishicha faqatgina bizning galaktikamiz – somon yo'li taxminan 100 mlrd yulduzdan tashkil topgan. Yulduzlar hozirgi vaqtda ham koinot paydo bo'lishidan 10-20 mlrd yil keyin ham tug'ilyapti. Yulduzlar gravitatsion kuch ta'siri ostida ulkan molekulyar holatidagi gaz bulutlaridan kondensatsiyalangan. Molekulyar bulutlarda konsentratsiyalangan muhitning massasi butun galaktika massasining asosiy qismini tashkil etadi. Birlamchi muhitning bunday gazli bulutlari asosan vodorod yadrolaridan tashkil topgan bo'lib, geliy yadrolarining uncha katta bo'lmagan ulushi, yulduzlar hosil bo'lishi davridan (epoxasidan) oldin birlamchi nukleosintez natijasida hosil bo'lgan. Orion katta tumanligi bunday tumanlikni ko'rinishlaridan biridir. Bulutlar eng yaqin yulduzlar tomonidan yoritilganligi sababli ko'rinuvchandir. Yulduzlar gigant molekulyar bulutlardagi alohida birjinslimaslardan paydo bo'ladi. Bunday birjinslimaslar maxsus nom-



kompakt zonalar deb yuritiladi. Odatdagi kompakt zona birnecha yorug'lik oyi o'lchamiga ega bo'lib vodorodning 1 sm^3 hajmdagi zichligi $3 \cdot 10^4$ ga teng, temperatura $\sim 10 \text{ K}$ ga teng bo'ladi. Kompakt zonaning siqilishi markaziy sohasining kollapsidan boshlanadi, ya'ni muhitning zona markaziga erkin tushishidan boshlanadi. Gravitatsion kuchlar atomlarni shunday yaqinlashtiradiki turon kuchayadi zichlik esa oshadi. Molekulalar markazga tushib energiya oladi, o'zaro ta'sir natijasida ular avval atomlarga bo'linadi. Gravitatsion siqilish natijasida quyun temperaturasi oshiradi. Bunga mos keluvchi energiya atomning uyg'onish energiyasidan katta bo'lganda, vodorodning uyg'ongan atomlari hosil bo'ladi. Sokinlik bilan kollaps oblasti periferiyaga ko'chib, butun zonani egallaydi. Anashunday yulduz hosil bo'lish jarayoni boshlanadi [4].

Uyg'ongan vodorod atomlari asosiy holatga o'tib vodorodga taalluqli bo'lgan spektral chiziqlarni nurlaydi. Obyekt nurlanuvchanga aylanadi. Yulduzning diametri bir necha yorug'lik sekundiga teng bo'ladi, yani kompakt zonaning 10^{-6} diametriga teng bo'ladi. Kompakt zonaning markazida quyosh massasiga teng massa 100 ming yildan 1 mln yilgacha vaqt davomida to'planadi.

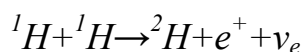
Muhitning keying siqilishi uning temperaturasi ko'tarib, u ionlashgan holatiga o'tganidan muhit evolyutsiyasida yangi davr boshlanadi. Nurlanish bir necha tartibda ko'tariladi. Bunday nurlanish allaqachon vodorodli nurlanish bo'lmasdan, ionlashgan muhitda erkin harakat qiluvchi elektronlarni uzluksiz spektridan iboratdir. Kollapslanuvchi bulut markazida hosil bo'luvchi quyunga protoyulduz deyiladi. Protoyulduz yuziga tushuvchi gaz (bu hodisaga akretsiya hodisasi deyiladi) zarbali to'lqin hosil qilib, gazni 10^6 K gacha temperaturasi ko'tarishiga olib keladi. Keyin gaz nurlanish natijasida tezlik bilan 10^4 K gacha sohib, protoyulduzning ketma-ket qatlamlarini hosil qiladi. Bunday kartina yosh yulduzlarning yuqori nurlanishlarini tushuntiradi. Protoyulduzlarni optik teleskoplar bilan kuzatish mumkin. Gap shundaki zarbali to'lqinning nurlanishi, protoyulduz sirtidan chiqib o'z yo'lida ko'p sovuq molekulyar gaz va changga



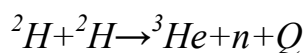
uchraydi. Natijada changning nurlanishi hosil bo'lib, fotonlarning qayta sochilishi vujudga keladi. Sovuq chang zarralari katta to'lqin uzunlik intervalida fotonlarni qayta nurlaydi. Bir tomondan tiniq bo'lmagan zonalar hosil bo'lsa, ikkinchi tomondan ko'p marotaba sochilgan birlamchi fotonlar spektri, spektrning infraqizil oblastiga ko'chadi. Nurlanishning to'lqin uzunligi yetarlicha oshib, endi chang zarralari bunday nurlanishni yuta olmaydi. Shuning uchun protoyulduzni infraqizil diapozonda kuzatish mumkin. Hosil bo'luvchi muammolar shu bilan bog'langanki, hattoki infraqizil spektrometriya ham effektiv ravishda protoyulduzni nisbatan qari yulduzlardan effektiv ajrata olmaydi [7]

Protoyulduz yuziga tushuvchi gaz tushish tezligini aniqlashda dopler effekti qo'shimcha analizi talab etiladi.

Akretsiya natijasida yulduz muhiti massasi 0,1 quyosh massasiga yetganda, yulduz markazida temperatura 1 mln k yetadi va yulduz hayotida yangi etap, termoyadroviy sintez reaksiyasi etapi boshlanadi. Lekin bunday termoyadro reaksiyalari statsionar holatda bo'lgan quyoshga o'xshash yulduzlarni markazida o'tuvchi termoyadro reaksiyasidan farq qiladi. Farq shundaki, quyoshda o'tuvchi sintez reaksiyalarida



ancha katta temperatura ~ 10 mln. k talab etiladi. Protoyulduzning markazida esa 1 mln. k temperaturada o'tib, effektiv ravishda deyteriy qo'shilishi hosil bo'lishi termoyadro reaksiyasi o'tadi ($d\equiv{}^2H$).

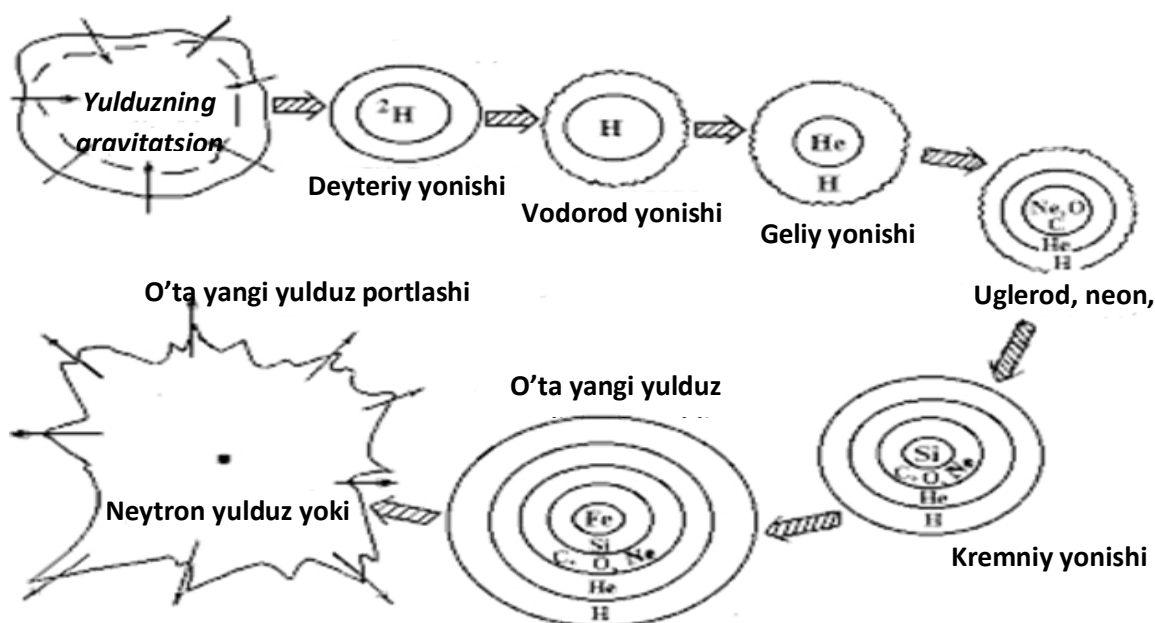


Bunda $Q=3.26\text{ MeV}$ – ajraluvchi energiya. Deyteriy xuddi 4He singari koinot evolyutsiyasining yulduzgacha erasida ham hosil bo'ladi. Lekin bu uncha katta bo'lmagan miqdor protoyulduzning markazida hosil bo'luvchi effektiv energiya manbai uchun yetarli bo'ladi. Protoyulduz muhitining notiniqligi unda konvektiv

zonalarini paydo bo'lishiga sabab bo'ladi. Isitilgan gaz pufaklari yulduz markazidan uning periferiyasiga ko'chsa, uning sirtidan markaziga sovuq muhit ko'chib, yangi deyteriy miqdorini uzatadi. Deyteriyning yonish etapida deyteriy protoyulduz periferiyasiga ko'chib, uning tashqi qobiqlarini isitadi, bundan esa protoyulduz kengayishi kelib chiqadi. Massasi quyosh massasiga teng bo'lgan protoyulduzni radiusi quyosh radiusidan taxminan s marotaba katta bo'ladi.

Kompakt zonaning massasi hosil bo'layotgan protoyulduz massasidan katta bo'ladi. Ortiqcha massani uzoqlashishi, yulduz yuziga muhit akretsiyasini yo'qolishi yulduz shamoli ta'siri ostida vujudga keladi. Obyekt yalang'ochlanadi, uni optik diapozonda kuzatish mumkin bo'ladi. Xuddi protoyulduz kabi, yulduz ham o'sha nurlanishiga ega bo'lib, bu nurlanish endi muhitni akretsiyasi yoki termoyadro sintezi hisobidan emas, balki gravitatsion siqilish natijasida hosil bo'ladi. Yulduzning gravitatsion siqilishi natijasida uning markazidagi temperatura ko'tariladi va vodorod yonishi termo``yadro reaksiyasi hosil bo'lishi uchun sharoit yaratadi (1 – rasm).

Yulduzning ma`rkazidagi temperatura 10 – 15 mln. k – ga yetganda vodorod yadrolarining kinetik energiyasi, ular orasidagi ta'sir etuvchi kulon itarish kuchini yengishiga yetarli bo'lib vodorod yadrolari ular orasida termoyadro reaksiyasi o'tishi uchun masofagacha yaqinlashadi.



Rasm 1. Massiv yulduzining ($M > 25 M_{\odot}$) evolyutsiyasi etaplari



Natijada vodorodni yonish reaksiyasi boshlanadi. Termoyadro reaksiyalari yulduzning kichik markaziy oblastida boshlanadi. Natijada yulduzning siqilishi to'xtaladi, chunki termoyadro reaksiyasi natijasida chiquvchi nurlanish bosim kuchi gravitatsiya siqilishi kuchini muvozanatlaydi. Yulduzda nurlanish energiyasi mexanizmi sifatidan o'zgaradi. Vodorod yadrolarini yonish reaksiyalari boshlaguncha yulduz isitilishi gravitatsion siqilish hisobidan amalga oshayotgan bo'lsa, endi boshqa mexanizm ochiladi, yadroviy sintez reaksiyasi hisobidan endi energiya ajraladi. Yulduz stabil o'lchamga ega bo'lib, massasi quyosh massasiga yaqin bo'lgan yulduzni nurlanishi, vodorod yonishi bilan milliard yillar davomida o'zgarmaydi. Bu yulduzlar evolyutsiyasida eng uzun davrdir. Shunday qilib termoyadro reaksiyalarini boshlang'ich etapida 4 ta proton hisobidan bitta geliy yadrosi hosil bo'ladi. Yulduz markazida vodorod yonishi bilan geliy yadrolari to'planib boradi. Yulduz markazida geliy yadro hosil bo'ladi. Yulduz markazidagi barcha vodorod yonib bo'lganda, energiya vodorod yonishini termoyadro reaksiyasi hisobidan ajralishi to'xtaydi, yana gravitatsion kuch ta'siri ostida siqilish jarayoni boshlanadi. Geliyli yadro siqila boshlaydi. Siqilib geliyli yadro temperaturasi ko'tariladi. Geliy kinetik energiyasi oshib oxir-oqibat bunday yadrolar kulon itarish kuchini yengishga yetarli bo'lib geliy yonishi uchun yadrolar yetarli bo'lgan masofagacha yaqinlashadi.

Termoyadro reaksiyalarini keying etapi geliyni yonishi boshlanadi. Geliyni yonishi yadro reaksiyalari natijasida uglerod yadrolari hosil bo'ladi. Keyinchalik uglerod, neon, kislorodlarni yonish reaksiyalari boshlanadi. Z-ti katta bo'lgan yadrolarning yonishi boshlanishi bilan, yulduz markazidagi temperatura va bosimni oshishi oshuvchan tezlik bilan oshadi va o'z navbatida bu yadro reaksiyalari tezligini oshiradi (2 – rasm).

Massiv yulduz uchun (massasi taxminan 25 quyosh massasiga teng) vodorod yonishi reaksiyasi bir necha million yil davom etsa, geliyning yonishi 10 marotaba tez o'tadi. Kislorodning yonishi 6 oy davom etsa, kremniyni yonishi bir sutka

davom etadi. Termoyadro reaksiyalari zanjirida qanday elementlar hosil bo'ladi, javob aniq.

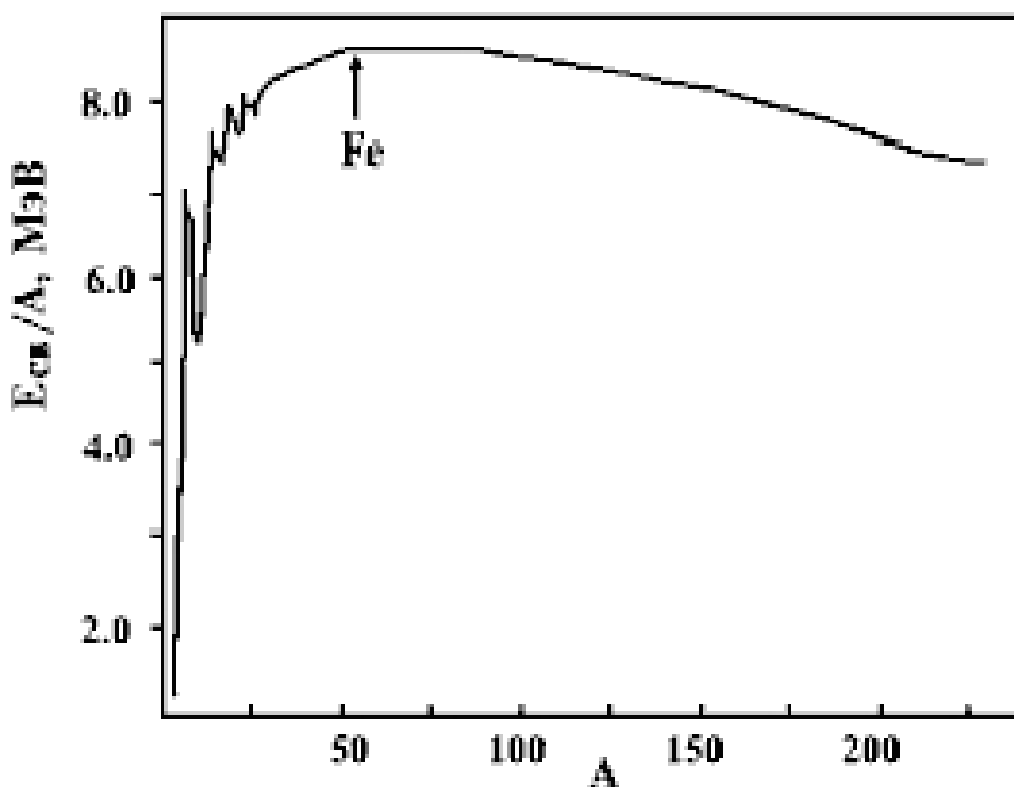


2 – rasm . Massiv yulduzning evolyutsiyasi

Nisbatan og'ir elementlarning sintezi, energiya ajralishi mumkin bo'lgan hollargacha davom etiladi. Termoyadro reaksiyalarining tamom bo'lish etaplarida kremniyni yonish jarayonida temir elementi rayonidagi elementlar hosil bo'ladi. Bu yulduzlarda termoyadro sintezi reaksiyalarining oxirgi etapidir, chunki temir yadrosi rayonidagi elementlar yadrolari maksimal solishtirma bog'lanish energiyasiga ega bo'ladilar (3 – rasm). Yulduzlarda kechuvchi yadro reaksiyalari yulduz massasiga nisbatan bog'langan bo'ladi. Bu bog'lanish shuning uchun vujudga keladiki, yulduz massasi gravitatsion siqilishi kuchini belgilaydi, shuning uchun oxir-oqibat yulduz markazidagi temperaturani maksimal qiymatini belgilaydi. Birinchi Jadvalda turli massali yulduzlar uchun bo'ladigan yadro reaksiyalarini nazariy hisoblash natijalari keltirilgandir.

Jadval – 1. Turli massali yulduzlar uchun bo'ladigan yadro reaksiyalarining nazariy hisoblash natijalari

Massa $M_{\odot}$	O'tishi mumkin bo'lgan yadro reaksiyalari
0,08	Yo'q
0,3	Vodorod yonishi
0,7	Vodorod va geliy yonishi
5,0	Vodorod, geliy, uglerod yonishi



3 – rasm. Solishtirma bog'lanish energiyasi E_{b}/A – ning massalar soni

A – ga bog'lanishi.

Jadvaldan ko'rinyaptiki, yadro sintez reaksiyalarining to'liq ketma-ketligi og'ir yadrolarda kechadi. Massasi $M < 0,1 M_{\odot}$ bo'lgan yulduzlarda gravitatsion



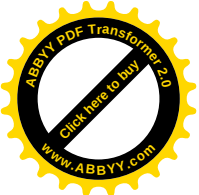
siqilish energiyasi yulduzlarni termoyadro reaksiyalari kechishi uchun kerak bo'lgan holgacha keltirishiga yetarli emas. Vodorod yonishi termoyadro reaksiyasi davom etguncha berilgan yulduz, yulduzlarning asosiy ketma-ketligida joylashgan bo'ladi. Vaqt o'tishi bilan yulduz markazida geliy kuli to'planishi bilan uning markaziy qismi siqila boshlab, temperaturasi ko'tariladi. Termoyadro yonish reaksiyasi jarayoniga markazdan tobora uzoqda joylashgan qismlari qo'shila boshlaydi. Bunday qisilish jarayoni natijasida yulduzni kengayishi va tashqi qatlamlarini sovushi vujudga keladi. Yulduzning o'lchami oshib boradi va uning spektrida qizil rang oshishiga boshlanadi. Natijada yulduz, yulduzlarning asosiy ketma-ketligidan uzoqlashib qizil gigant yoki o'ta gigant oblastiga o'tadi.

Hozirgi etapda quyoshdagi vodorod zaxirasi yana 100 mlrd yilga yetadi. Lekin quyoshning markaziy oblastidagi vodorod oqayotganligini hisobga olsak undagi vodorod zaxirasi yana 5-6 mlrd yilga yetishini topamiz ya'ni 5-6 mlrd yildan keyin quyosh qizil gigant yulduzga aylanishi kerak. Bunday etapda quyoshning radiusi taxminan 200 marotaba oshadi. Quyosh tashqi qabata avval Merkuriy, keyin Veneraga yetib keladi. Quyosh o'zining siqilishi va kengayishini murakkab sikliga erishadi. Quyoshda dinamik muvozanat buzilishi stadiyasida davriy ravishda uning muhitini tashqariga otilib chiqishi vujudga keladi. Natijada yulduz tashqi qobig'ini yo'qotib, barcha termoyadro reaksiyalari tamom bo'lgandan keyin yalang'och markaziy yadro sifatida qoladi. Hosil bo'lgan yulduzni keyingi taqdiri uning massasiga bog'liq ravishda aniqlanadi. Agar qoldiq yadro yulduz massasi $< M_{\odot}$ (boshlang'ich paytdagi massasi $< 8M_{\odot}$) bo'lsa u gravitatsion siqilib o'lchamda kichrayib oq karlikka aylanadi. Izolyatsiyalangan yulduz oq karlik holatiga chegaralanmagan uzoq vaqt davomida sovib keladi. Oq karliklarda dinamik muvozanat gravitatsion kuch va aynigan gaz bosim kuchi tenglashganida vujudga keladi. `

Agar yulduzning massasi $10M_{\odot}$ oshganda bunday yulduz evolyutsiyasini oxirgi stadiyasi o'ta yangi yulduz deb nomlanadi. Massiv yulduzda yadro



reaksiyalari energiyasi tugaganda gravitatsion kuchlar yulduzni markaziy qismini yana siqa boshlaydi. Aynigan gaz bosim kuchi gravitatsion kuchni muvozanatlay olmaydi. Siqilish temperaturani ko'tarilishiga olib keladi. Natijada temperatura shu darajada ko'tariladiki, temir yadrolarining yemirilishi boshlanadi. Yulduz markaziy qismidagi temirdan iborat bo'lgan yadrolar neytronlarga, protonlarga va geliy yadrolariga bo'linadi. Bunday yuqori temperaturalarda ($T=10^9\text{K}$) proton+elektron juftlari effektiv ravishda neytron+neytrino juftlariga aylana boshlaydi. Past energiyali neytrinolarning ($E_\nu < 10\text{ MeV}$) muhit bilan o'zaro ta'sir kesimi kichik bo'lganligi ($\sim 10^{-43}\text{ cm}^2$) sababli neytrinolar tezlikda yadroni tashlab chiqib ketadi, natijada yadro-yulduz soviy boshlaydi. Temirning kichik fragmentlarga bo'linishi jarayoni ham yulduz markaziy qismini intensiv ravishda soviy boshlaydi. Yulduzning keskin ravishda sovishi uni ustuvor ravishda oxirigacha buzadi. Bir necha sekund davomida yulduz yadrosi siqilgan holat neytronli yulduzga yoki qora tuynukka aylanadi. Katta miqdorda energiyani ajralishi bilan o'tuvchi o'ta yangi portlashi vujudga keladi. Zarbali to'liqlarni hosil bo'lishi natijasida yulduz tashqi qatlamini 10^9 K temperaturagacha isilishi va nurlanish bosimi va neytrinolar oqimi tasiri ostida tashqi fazoga tashlanishi vujudga keladi. Ko'z bilan ko'rinmaydigan yulduz bir onda nurlanib ko'rinuvchiga aylanadi. Ko'rinuvchi diapozonda o'ta yangi nurlanish energiyasi butun galaktikani nurlanish energiyasiga teng yoki undan katta bo'lishi mumkin. Misol tariqasida Krabovid tumanligini Xitoy va Koreyada 1054 yilda ko'ringan o'ta yangi portlashi qoldig'i hisoblanadi. Teleskopda 1731 yilda topilgan Krabovid tumanligi hozirgi vaqtda ham kengayishda davom etayapti va hozirgi vaqtda 1054 yilda kuzatilgan portlash joyida bir necha yorug'lik yiliga teng bo'lgan diametriga ega tumanlikga aylangan. Katta Magelan tumanligida portlash vujudga kelganligi qayd etilgan. Bu tumanlik bizning galaktikamizdan 170000 yorug'lik yili masofasida joylashgan. O'ta yangini qobig'i portlash natijasida sekundiga bir necha 10 ming kilometr tezlik bilan tashqariga uloqtirilgan SN1987A belgi bilan belgilangan o'ta yangi o'rnida oldin ko'k rangdagi massasi 16 M_0 bo'lgan o'ta gigant kuzatilgan. Portlash

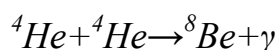
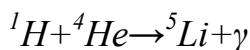
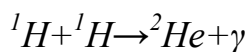


momentida temperatura keskin oshadi va yulduzning tashqi qobiqlarida portlovchi yadro reaksiyalari deb ataluvchi nukleosintez jarayoni o'tadi. Xususiyl holda hosil bo'luvchi intensiv neytrinolar oqimi $A > 60$ massalar oblastidagi elementlarni hosil bo'lishiga olib keladi. O'ta yangi portlashi juda noyob hodisa bo'lib, $\sim 10^{11}$ yulduzdan tashkil topgan bizning galaktikamizda oxirgi 1000 yilda hammasi bo'lib 3 ta o'ta yangi chaqnashi vujudga kelgan. Lekin o'ta yangilarni chaqnashi chastotasi va yulduzlararo fazoda tashlanayotgan muhit miqdori, kosmik nurlar intensivligini tushuntirish uchun yetarlidir. O'ta yangi portlashdan keyin yulduzning qolgan yadrosi masasiga bog'liq ravishda neytronli yulduzga yoki qora tuynukga aylanadi.

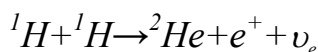
Shunday qilib yulduzlarning evolyutsiyasi jarayonida vodorodning o'gir elementlarga aylanishi sintez jarayoni vujudga keladi. Keyin hosil bo'lgan elementlar atrof fazoga o'ta yangi portlash natijasida yoki nisbatan katastrofik bo'lmagan qizil gigantlarda o'tuvchi jarayonlar natijasida atrof fazoga sochilib ketadi. Koinotga sochilgan muhit yana keyingi yulduzlar hosil bo'lishida va evolyutsiyasida yana foydalaniladi. I naseleniyasi va II naseleniyasidagi yulduzlarning evolyutsiyasi jarayonida yana og'irroq elementlar hosil bo'ladi. Elementlarning hosil bo'lish jarayonida yengil elementlar geliy, litiy, beriliy va borning sintezi problemi muhim rol o'ynaydi. Vodoroddan keyin geliy eng ko'p tarqalgan elementdir. Koinotda har 10 ta vodorod yadrosi bitta geliy yadrosi mos keladi. Bu kattalik koinot turli oblastlari va turli obyektlari uchun o'zgarmasdir. Geliy va vodorod yadrolari sonini nisbati bunday qiymati va uni o'zgarmasligi geliy koinot paydo bo'lishini boshlang'ich momentlarida birlamchi nukleosintez natijasida paydo bo'lgan degan gipotezani ilgari suradi. Shuning uchun yulduzlarning II-chi naseleniyasidagi yadroviy nukleosintezni ko'ruvchi modellarida muhitning birlamchi tarkibida geliy yadrolari ham mavjud deb olinadi. Vodorod va geliyning miqdori 10:1 ulushda olinadi. Birlamchi yadrolarni bunday tarkibi birdaniga keyingi yadroviy reaksiyalar zanjirini yozishda ma'lum



qiyinchiliklarga olib keladi. Muammo shundan iboratki, ikkita vodorod yadrosi orasidagi ikkita geliy yadrosi orasidagi, vodorod yadrosi va geliy yadrosi orasidagi reaksiyalar yoki bog'lanmagan ${}^2\text{He}$, ${}^5\text{Li}$ sistemalarga yoki yashash vaqti 10^{-10} s bo'lgan ${}^8\text{Be}$ yadrosini hosil bo'lishiga olib keladi.



Og'ir yadrolarni hosil bo'lish reaksiyalari zanjiri ikkita vodorod yadrosini o'zaro ta'sir etib deyteriy yadrosi hosil bo'lishidan boshlanadi.



Bunday reaksiya kuchsiz ta'sir asosida o'tganligi sababli yerda hech qachon kuzatilmagan. Bunday reaksiyani kesimini juda kichikligi vodorodni yonish reaksiyasi nima uchun yulduzlar evolyutsiyasida eng uzoq davom etadigan reaksiya ekanligini tushuntiradi.

Litiy, beriliy va bor hosil bo'lishini tushuntirish, bunday yadrolarni kichik bog'lanish energiyaga ega bo'lishi bilan bog'liq bo'lgan muammolarga uchraydi. Shuning uchun yulduzlar qa'rida ular effektiv ravishda hosil bo'lmasdan effektiv ravishda buzilishi kerak. Litiy yadrolarining katta qismi boshlang'ich epoxadagi nukleosintez natijasida hosil bo'lgan bo'lishi mumkin. Beriliy, bor va qisman litiy katta energiyali kosmik zarrachalarni gaz changli muhit bilan o'zaro ta'sirida va kichik energiyali protonlarni yulduzlar sirtidan tashqariga tashlanayotgan muhit bilan ta'siri natijasida hosil bo'lgan bo'lishi mumkin.

Ximyaviy elementlarni yulduzlarda hosil bo'lishini tushuntirish hozirgi zamon astrofizika fanining muhim xulosalaridan iboratdir. Elementlarning paydo bo'lishi yadroviy nazariyasi bunday elementlarni koinotda tarqalishini va qanday



sharoitlarda hosil bo'lishini hisobga oladi. Shunday qilib nukleosintez savollari bir tomondan yulduzlarni va bir butun koinotni tuzilishi va evolyutsiyasiga bog'liq bo'lsa, ikkinchi tomondan yadro ta'sirlarining xususiyatlariga bog'liqdir.

Bir qator murakkab haligacha yechilmagan muammolar borki, bunday muammolar koinotda elementlarni paydo bo'lish va evolyutsiyasi to'la nazariyasini hosil qilsak. Bular quyidagi muammolar:

1. Birlamchi yulduzlar massasini ifodalash va vaqtda va fazoda o'zgarish muammosi.
2. Past energiyalarda zarralarning to'g'risidagi muammolar.
3. Kuchsiz o'zaro ta'sir ostida o'tuvchi reaksiyalarni korrekt hisobga olinishi.
4. Radiativ yadrolar bilan neytronlarni o'zaro ta'siri kesimi to'g'risidagi ma'lumotlarni yo'qligi. Bu muammo r-jarayonda hosil bo'luvchi elementlarni ifodalashda paydo bo'luvchi muammo.
5. O'ta yangilarni portlashiga olib keluvchi mexanizmlarni yanada aniqlash muammosi.

Oxirgi yillarda bu muammolarni yechish arsenali kengaydi koinotni optik kuzatishga uni radiopozonda kuzatish, mikroto'lqinli detektorlar yordami qayd qilish, rentgen nurlanishni, kosmik zarralarni qayd qilish usullar paydo bo'lganligi tushunarliki yuqoridagi muammolarni kelgusida yechish imkonini beradi.

1.3. § Yulduzlarning ichki tuzilishi

Yulduzlar – ulkan gaz sharlari bo'lib, o'z yorugligini milliard yillar davomida saklab turishi mumkin. Bizning Quyosh - Galaktikadagi yulduzlar olamining tipik vakilidir. U 4.6 milliard yil avval gaz-chang bulutidan paydo bo'lgan. Bu bulutdan Quyosh tizimining sayyorolari, shu jumladan Yerimiz xam tashkil topgan. Yulduz va sayyoralardagi mavjud og'ip elementlar qayerdan hosil bo'lgan? Ma'lum bo'lishicha, bu masala yulduzlarning energiya manbalari xakidagi masala bilan uzviy bog'lik.

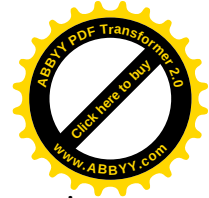


XIX asrda yulduzlarning energiya manbalari faol izlana boshlandi. Kimyoviy reaksiyalar, Kuyoshga kometa va asteroidlarning tushishi va hokazo o'ta ekzotik mexanizmlar taklif kilingan edi. XIX asr oxirida sikilish jarayonidagi gravitasion energiyaning erkin holatga o'tishi eng real mexanizm sifatida aralgan. Darvoke, Kuyoshning yorituvchanligini saklab turish uchun uning radiusi yiliga 20 kilometrga kamayib borishi kifoya edi. Birok masalaning murakkabligi shunda ediki, gravitasion sikilish Quyoshning yorituvchanligini fakat 30 million yil davomida saklab tura olar edi. Bugungi kunda Kuyoshning yoshi 4.6 milliard yilga tengligi bizga ma'lum. Ustiga-ustak geologik ma'lumotlardan aniklanishicha, Kuyoshning yorituvchanligi oxirgi bir necha milliard yildan buyon uzgarmas bo'lib turipdi. (Iqlim o'zgarishlarini keltirib chikaruvchi Quyosh doimiysining o'zgarishlari bir foizning atigi bir kismini tashkil etadi!).

O'tgan asrning 30-yillarida, nixoyat, Kuyosh va yulduzlarning milliard yillar mobaynida muttasil yorishib turishini ta'minlab beruvchi energiya manbai uning ka'rda kechadigan termoyadro reaksiyalaridir, degan fikr aytili. Buni ilk bor tushunib yetganlardan biri eston astronomi Yulius Epik buldi. U 1919-1922 yillarda Toshkent astronomiya observatoriyasida direktorning ilmiy ishlar bo'yicha o'rinbosari bo'lib ishlagan. Ammo yulduzlar energiyasi yadro manbalarining mikdoriy nazariyasini taklif kilish amerikalik fizik Betega nasib etdi.

U yaratgan nazariyaning moxiyati shundaki, sikilayotgan yulduzlarning ichki harorati bir necha million gradusga yetadigan muayyan sharoitlarda yadrolarning issiklik tezliklari shu kadar yukori buladiki, bunda yadrolar Kulon itarilishi kuchini yengib, bir-birlari bilan kushila boshlaydi. Ayni shunda yulduzlarning ka'rda alkimyogarlarning bir elementni boshka elementga aylantirish buyicha asriy orzusi ushaladi!

Yadro sintezining shunday reaksiyalaridan biri vodorod atomining turt yadrosi - protonlardan geliy hosil bo'lishidir. Bunday reaksiya vaktida ajraladigan energiya kimyoviy reaksiyalarda ajralib chikadigan energiyadan ancha katta. Gap



shundaki, geliy yadrosining massasi u sintezlanadigan turtta protonning umumiy massasidan kichik. Bunday massa farki (massa defekti Δm) ajralib chikayotgan energiya bilan Eynshteynning mashhur formulasi $E = \Delta m c^2$ orkali bog'lik. Shunday kilib, turtta protonning kushilishi natijasida bitta geliy yadrosi xosil buladi va 0,0000000000004 djoul energiya ajralib chikadi. Bu juda arzimastay kattalik, ammo Kuyoshda har sekunda 10^{38} (bir 38ta nol bilan) reaksiya sodir buladi! Ularning xammasi uzok vaqt mobaynida yulduzning yorqinligini ta'minlab turish uchun kerak buladigan energiyani beradi. Buning uchun Kuyosh ichidagi protonlar zaxirasi yetarlidir. Kuyosh yadrosining yuqori haroratli kismida joylashgan umumiy massaning karyib 10 foizigina yonadi deb taxmin kilib, bu zaxiralar kancha vaqtga yetishini baxolab olishimiz mumkin va bunday zaxira yana 10 milliard yilga yetishini topamiz. Bu aynan bizning kunduzgi yoritkichimiz yoshiga moye keladi.

Xo'sh, keyin nima bo'ladi? Bu yulduz massasiga bog'lik. Massasi katta bo'lgan yulduzlar ancha tezroq rivojlanadi va ba'zan halokatli o'zgarishlarni boshidan kechiradi. Massasi kichik yulduzlarda evolyusiya jarayoni ancha sokin va uzokroq davom etadi. Masalan, Kuyoshni olib ko'raylik. Yana 4.5 milliard yildan keyin uning yadrosidagi vodorod zaxirasi tugagach, energiya ajralishi tuxtaydi va u o'z gravitatsiyasi ta'sirida sikila boshlaydi. Bu xolat yadroda xaroratning yanada ortishiga olib keladi. Harorat 100 million gradusgacha kutarilganda uch o'lchamli alfa jarayoni boshlanadi: geliyning uchta yadrosi ko'shilib, bitta uglerod yadrosi tashkil topali. Protonlar ishtirokidagi yadro reaksiyalari singari bu yerda ham massa farki energiya shaklida ajralib chikadi. Yulduz ichida og'irroq elementlarni hosil qiladigan boshqa reaksiyalar aynan shu zaylda kechadi.

Birok, shu tarzda kimyoviy elementlar yadrolari hosil bo'lishi temir yadrosiga kadar davom etadi (u 26 proton va 30 neytrondan tashkil topadi). Yanada og'irroq atom yadrolarining hosil bo'lishi chogida energiya ajralmaydi va

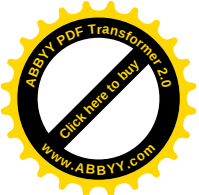


shuning uchun yadro reaksiyalari yulduzni hamma kimyoviy elementlar temirga aylangunicha energiya bilan ta'minlab turishi mumkin.

Temirdan og'irrok elementlar yadrolari portlash tarzidagi jarayonlar vaktidagina, masalan, o'ta yangi yulduzlar chaknashlari paytida sintezlanishi mumkin. Massasi katta bo'lgan yulduzlarga kaytsak. Ular evolyusiyasi xalokatli tarzda kechadi. Yadro energiya manbalari tugagach, massiv yulduz o'z gravitasiya kuchiga bardosh bera olmay, keskin sikiladi. Shunda ajralib chikkan ulkan gravitasion energiya yulduz kobitaning fazoga otilib chikishiga olib keladi. Ushbu jarayon uta yangi yulduzning chaknashi deyiladi. Bu jarayonda zarbaviy to'ltin xam tarkalib, o'zi bilan olib ketayotgan gazni juda katta haroratgacha qizdirib yuboradi. Zarbaviy to'ltin fronti ortida kechayotgan termoyadroviy reaksiyalar jarayonlarida uran va toriygacha bo'lgan ogir elementlarning sintezi yuz beradi. Tumanliklardagi ogir elementlarning nisbatan katta ulushi - o'ta yangi yulduzlarning chaknash koldiklari bayon etilgan tasvirning to'g'riligini tasdiklaydi.

Yukorida ko'rib o'tilgan masalalardan yaxshi xabardor bo'lmagan ukuvchiga ilk Koinot evolyusiyasi va kimyoviy elementlar hosil bo'lishi xakidagi xozirgina aytib o'tgan muloxazalarimiz yozuvchining xayoliy uylari maxsuligina bo'lgan fantastik roman lavxalaridek tuyulgan bo'lishi mumkin. Lekin bunday emas. Koinotda yuz bergan jarayonlar minglab iste'dodli olimlar tomonidan unlab yillar davomida tinimsiz olib borilgan mashakkatli tadjikotlar orkali tabiatdan izlab topilgan ko'p sonli kuzatuv va eksperimental ma'lumotlar asosida rekonstruksiyalangan. Ilk Koinotda kechgan jarayonlar bugungi kunda xam Katta Adron Kollayderi singari o'ta kuchli zarralar tezlatkichlarida yadro to'knashuvlarini tadjik etish natijalarini hisobga olgan holda aniqlashtirilib, tafsilotlari o'rganilmokda.

Galaktikalar xamda yulduzlarning kimyoviy tarkibini o'rganish borasida yaqinda o'tkazilgan tadjiqotlar ham yulduzlarda elementlarning sintezlanish tafsiloti sari yo'l ochadi. Galaktikamiz yulduzlaridan eng keksasining yoshini



(kariyb 10 milliard yil) Galaktikaning o'z yoshi bilan taqqoslash mumkin. Ular xali o'z evolyusiyasini tugatishga ulgurmagan va ularning kimyoviy tarkibi 10 milliard yil avvalgi astrofizik plazma holatini yaqqol ifoda etadi. Bu birinchi avlod yulduzlaridir. Bu yulduzlar vujudga kelayotgan Koinotning ilk boskichida sintezlangan vodorod va geliydan tashkil topgan va ularda amalan boshka elementlar yo'q.

Bizning Quyosh xakida esa bunday deb bo'lmaydi. Astronomlar uni Koinotimizning uchinchi avlodiga ajratishgan. Rasmda xozirgi Quyoshning kimyoviy tarkibi ko'rsatilgan. Rasmdan ko'rinib turibdiki, Quyosh, birinchi avlod yulduzlariga nisbatan, og'ip elementlar bilan kuprok boyigan. Bizning Quyoshimiz paydo bo'lishidan milliard yillar mukaddam ulkan yulduzlar o'z bagrida yadrolarni kayta ishlab, yengil elementlarni ogirrok elementlarga aylantirishgan. Uglerod, kislorod, azot, kremniy, temir, shuningdek ko'pgina boshqa ogir elementlar aynan shunday yul bilan hosil bulgan. Yulduzlarning yadro utxonasida boyigan modda keyin yulduz shamoli orkali yulduzlararo fazoga kelib qolgan yoki o'ta yangi yulduzning xalokati - chaknashi vaktida otib yuborilgan. Ushbu Og'ip elementlar bilan boyitilgan yulduzlararo gazdan yangi yulduzlar shakllangan. Extimol,Quyoshni hosil kilgan bunday moddaning qayta ishlanishi bir marotaba bo'lmagandir. Butun Quyosh sistemasi va shu jumladan bizning sayyoramiz Yer xam shu moddadan hosil bo'lgan [4]

Mazkur makolani yozish asnosida shu mavzuga oid kuplab ilmiy - ommabop makolalarni ko'rib chiqdim. Shunisi ajablanarliki, jiddiy ilmiy - dunyokarash axamiyatiga molik bo'lgan bu masala nimagadir e'tibordan chetda kolgan. Xullas, konimizning kizil rangini belgilaydigan temir, suyaklarimizning kattikligini ta'minlovchi kalsiy, barcha murakkab organik moddalarning asosi bo'lgan uglerod va tanamizni tashkil etgan boshka muxim elementlar va, umuman, bizni o'rab turgan borlik yulduzlar ka'rida sintezlangan ekan-da. Demak xammamizning konimiz bir - barchamizni tashkil etuvchi modda uzak yulduzlar ka'rida vujudga



kelgan! Biz - Koinot bolalarimiz! Bizning yerda paydo bulishimizga Koinot milliard yillar davomida tayyorgarlik ko'rgan!

Quyoshning ichki tuzilishi modeli. Quyoshning ichki qatlamlarida T , p va P laming radius bo'ylab o'zgarishini topish uchun yoki modelini hisoblash uchun quyidagi differensial tenglamalardan foydalaniladi:

$$\frac{dP(r)}{dr} = -\frac{M_r G}{r^2} \rho(r), \quad \frac{dM_r}{dr} = 4\pi r^2 \rho(r), \quad \frac{dL_r}{dr} = \epsilon(r) \rho(r) 4\pi r^2,$$

$$\left(\frac{dT}{dr}\right)_{mur} = -\frac{3}{64\sigma T^3} \frac{L_r}{4\pi r^2} \rho \quad \text{va} \quad \left(\frac{dT}{dr}\right)_{ad} = \frac{\gamma-1}{\gamma} \frac{T}{P} \frac{dP}{dr}.$$

Bu tenglamalar quyidagi chegaraviy hollar uchun birgalikda yechiladi:

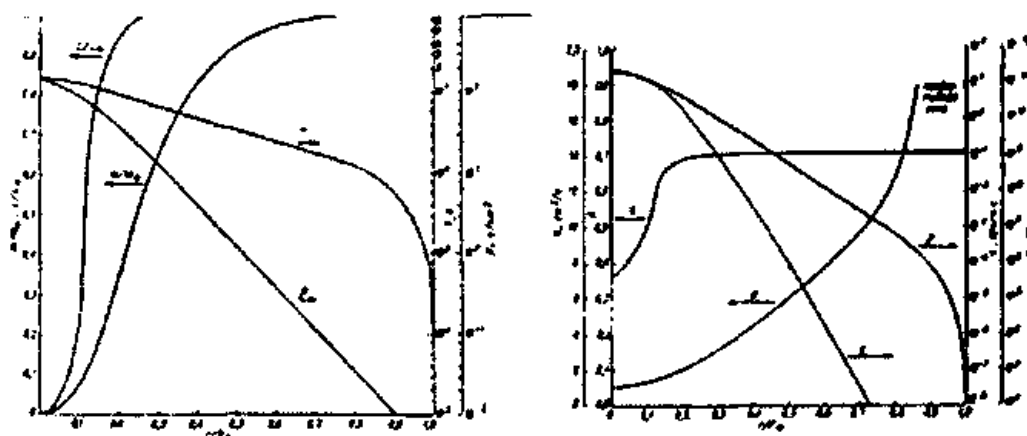
$r = 0$ bo'lganda, ya'ni Quyosh markazida $M_o = 0$, $L_o = 0$;

$r = R$ bo'lganda, ya'ni Quyosh sirtida $M_r = M_q$ va Quyoshning yoshi 4.5 mlrd yilga yetganda $R = R_q$ va $L_r(R_q) = L_q$. Bu shartlarni bajarilishi og'ir atomlar miqdori Z ga bog'liq; $r = R$ bo'lganda, $P = GT^{\gamma/\gamma-1}$ $G = \frac{1}{15}$ 2 oraliqda o'zgaradi.

Quyosh massasi $M = 2 \cdot 10^{30}$ kg bo'lgan gazni gravitatsion siqilishidan hosil bo'lgan deb faraz qilinadi va yadro reaksiyasi boshlanishi arafasida gaz shaming kimyoviy tarkibini bir jinsli bo'lgan deb qabul qilinadi. Yuqori-dagi tenglamalardan har xil vaqt momentlari $t \leq 4.5 \cdot 10^9$ uchun Quyoshning ichki tuzilishi hisoblanadi.

Agar Quyoshda yadro reaksiyalari boshlanishi arafasidagi uning kimyoviy tarkibi va Quyosh moddasining erkin yurish yo'lining balandlik shkalasiga nisbati to'g'ri qabul qilingan bo'lsa, oxirgi vaqt momentida, ya'ni hozirgi ga o'vaqtdagi $R = R_q = 696\,000$ km va $L(R_q) = 3.96 \cdot 10^{26}$ Wt/s ekanligi kelib chiqadi. Hozirgi zamondagi Quyosh modeli 1-rasmdagi chizmalarda keltirilgan. Bu modeldan Quyosh markazida zich va yuqori temperaturaga ezakni ko'rish mumkin. Radiusi r

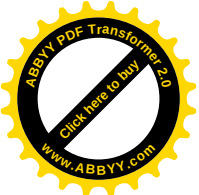
$= 0.2 R_q$ bo'lgan bu o'zakda $M_r = 0.5 - M_q$, ya'ni Quyosh massasining yarmi joylashgan va o'zakdagi $L_r = 0.99 L_q$ qatlamda Quyosh energiyasining 99 % hosil bo'ladi. $r = 0.25 \cdot R_q$ masofada temperatura (T) ikki marta, energiya chiqaruvchanlik 40 marta va hajm birligi chiqarayotgan energiya 300 marta kamayadi. O'zakda vodorod miqdori (X) 50 % ga kamayib, o'zakdan uzoqlashgan sari moddaning yutish koeffitsiyent k tez suratlarda bilan ortaboshlaydi va $r \geq 0.86$ masofada



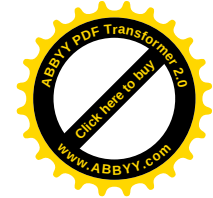
4 – rasm. Quyoshning ichki tuzilishi modeli va berilgan ($X = 0.708$, $Y = 0.272$, $Z = 0.020$) kiyoviy tarkibda Quyosh moddasining fizik xususiyatlarining Quyoshning ichki qatlamlari tomon o'zgarib borish grafigi. Chapda temperatura (T), gaz bosimi (P), yorqinlik (L) va massa (M, Quyoshning toia massasi birliklarida) laming radius bo'yicha o'zgarishi. O'ngda vodorodning nisbiy miqdori (X), zichlik.

Quyosh moddasining yutish koeffitsiyentining o'zgarishi. keskin ortadi. Bu nuriy gradiyentni $\left| \frac{dT}{dr} \right|_{nur}$ keskin ortishiga va $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$ ni bu qatlamlarda kamayishi bilan birgalikda konvektiv oqimlarning hosil ho'lishiga sabab bo'ladi. Chizmalardan ko'rinib turibdiki, Quyosh sirti $r = R_q$ yaqinida bosim keskin kamaya boshlaydi. Bu esa balandlik shkalasi $H = \frac{RT}{g\mu}$ va T ni tez suratlarda bilan kamayishini ko'rsatadi [1-3]

Buning uchun nazariy hisoblash natijalarini eksperimental yo'l bilan



U'kshirish talab qilinadi. Nazariy hisoblangan yorug'lik nurlarida Quyoshning yorqinligi L o'lchashdan olingan yorqinlik L_q ga, Quyosh radiusi R esa hozirgi kuzatiladigan radius (R_q)ga tengligi tekshirib ko'rilgan va bu sohada model haqiqiy Quyoshga mos keladi. Biroq yadro reaksiyalari natijasida hosil bo'ladigan neytrino oqimi masalasida moslik yo'q: o'changan oqim hisoblangandan 3,5 marta kam. Bu hozircha jumboq bo'lib qolmoqda.



II – BOB. Yulduzlar evilyusiyasining so'nggi bosqichi

2.1. § Yulduzlarning paydo bo'lishida sodir bo'ladigan termoyadro reaksiyalar

Yulduzlarning paydo bo'lishini belgilovchi reaksiyalarni quyidagi guruhlarga ajratish mumkin:

1. H – jarayon – vodorod yadrolarini geliy yadrolariga aylanish jarayoni. Bunday jarayonlar Quyosh va Quyosh tipidagi yadrolar markazida, $\rho_c = 10^5 \text{ kg/sm}^3$ zichlik va $T_c = 15 \cdot 10^6 \text{ K}$ temperaturalarda quyidagi $4 {}^1H \rightarrow {}^4He$ sxemada amalgam oshadi.
2. α – jarayon – uglerodni $3 {}^3He \rightarrow {}^{12}C$ sxemasida sintezi jarayonlari majmui. Bundan tashqari keyingi kislorod, neon, magnit yadrolarini sintez jarayoni. Bunday jarayonlar $T_c \geq 5 \cdot 10^8 \text{ K}$ temperaturalarda massasi 1,5 Quyosh massasidan katta bo'lgan yulduzlarda amalgam oshadi.
3. ℓ - jarayon – temir guruhidagi elementlar yadrolarini hosil bo'lish jarayonlari (${}^{16}O + {}^{16}O \rightarrow {}^{28}Si + {}^4He$, ${}^{28}Si + {}^{28}Si \rightarrow {}^{56}Ni$, va hokazolar). Bunday reaksiyalar $T_c \approx 3 \cdot 10^9 \text{ K}$ temperaturalarda o'ta yangi yulduz chaqnashidan oldingi momentlarda vujudga keladi.

Yulduzlar evolyutsiyasini oxirgi etaplarida amalga oshuvchi sintez jarayonlari:

4. S – jarayon – yulduzlar rivojlanishining oxirgi etaplarida $m > 1,5 m_\odot$ massali yulduzlar yadrolarida neytronlarni ushlab qolish jarayoni bo'lib, bunda vismut (${}^{209}Bi$) – gacha bo'lgan kimyoviy elementlar yadrolari hosil bo'ladi. Bunda erkin neytronlar manbai bo'lib, ${}^{12}C + {}^{12}C \rightarrow {}^{23}Mg + n$, ${}^{16}O + {}^{16}O \rightarrow {}^{31}Si + n$ reaksiyalari xizmat qiladi.
5. r – jarayon – o'ta yangi yulduzni chaqnashi paytida uning qa'rida o'tuvchi tez jarayon 100 sekund vaqt davomida atom yadrolari tomonidan neytronlarni ushlab qolishi natijasida yadrosini massalar soni $A \approx 270$ - gacha bo'lgan (uran va toriy ham) kimyoviy elementlarni hosil bo'lishi xususiy holda S – jarayon natijasida $A = 86, 130$ va 196 massalar soni yaqinidagi

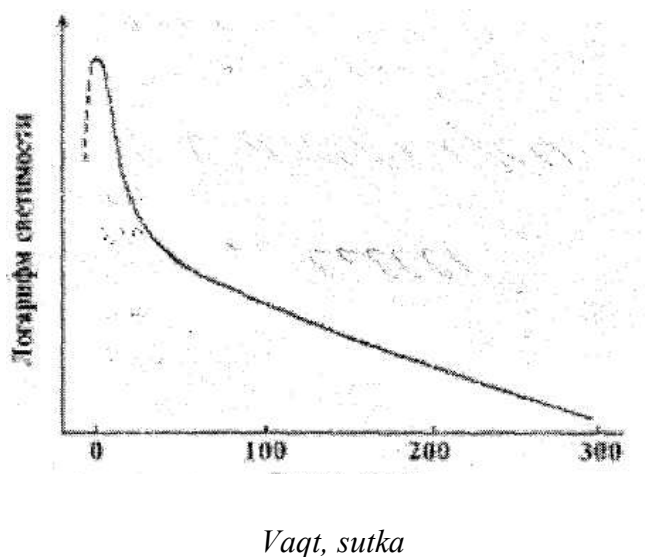


ortiqcha yadrolar hosil bo'lsa, r – jarayon natijasida $A = 90, 140$ va 210 yaqinidagi ortiqcha yadrolar hosil bo'ladi.

O'ta yangi yulduzlar chaqnashi davomida β – yemirilishlar $^{56}\text{Ni} \rightarrow ^{56}\text{Co} \rightarrow ^{56}\text{Fe}$ ketma-ketligi zanjiri natijasida yadrolarni hosil bo'lishi, bunday yemirilishlar kuchli γ – nurlanish bilan amalgam oshishi aniqlangan. Yanada massiv yulduzlar qa'rida yadro tomonidan elektronlarni ushlab qolish jarayoni natijasida, neytronli yulduzlarni vujudga kelishi ko'rsatilgan [4,5]

2.2. § O'ta yangi yulduzlar, yulduzlar evolusiyasining so'nggi bosqichi

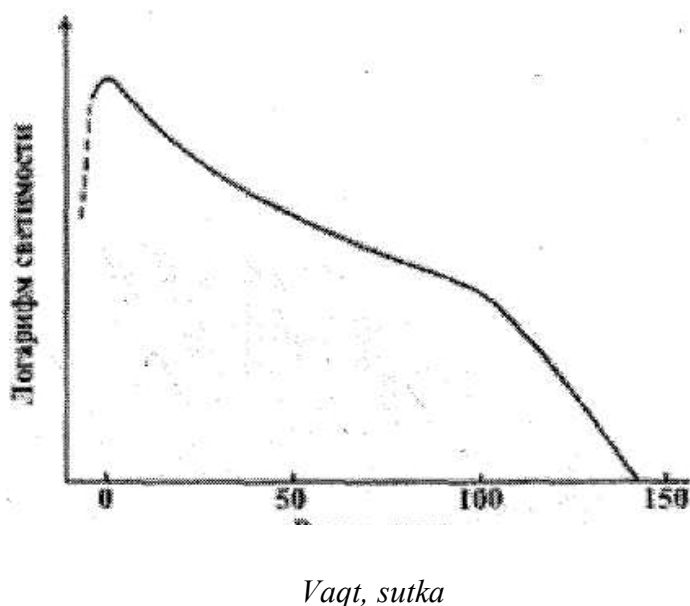
O'ta yangi yulduzlar – bu katta yulduzlar bo'lib ularning yorutuvchiligi ulkan kattalikkacha to'satdan kattalashadi, keyin sekin pasayadi. O'ta yangi yulduzlar yulduzlar evolitsiyasining barcha bochqichlaridan o'tadi. Yulduz kollaps jarayonida va ancha og'irlik qismini yo'qotishning hisobga olib, o'ta yangi yulduzning boshlang'ich og'irligi $8 - 10 M_{\odot}$ dan kam bo'lmasligi kerak. O'ta yangi yulduzlarning ikkita turi mavjud (8 – rasm)



5 – rasm. Yangi I – tip yulduzlar uchun yorqinlik egrisi.

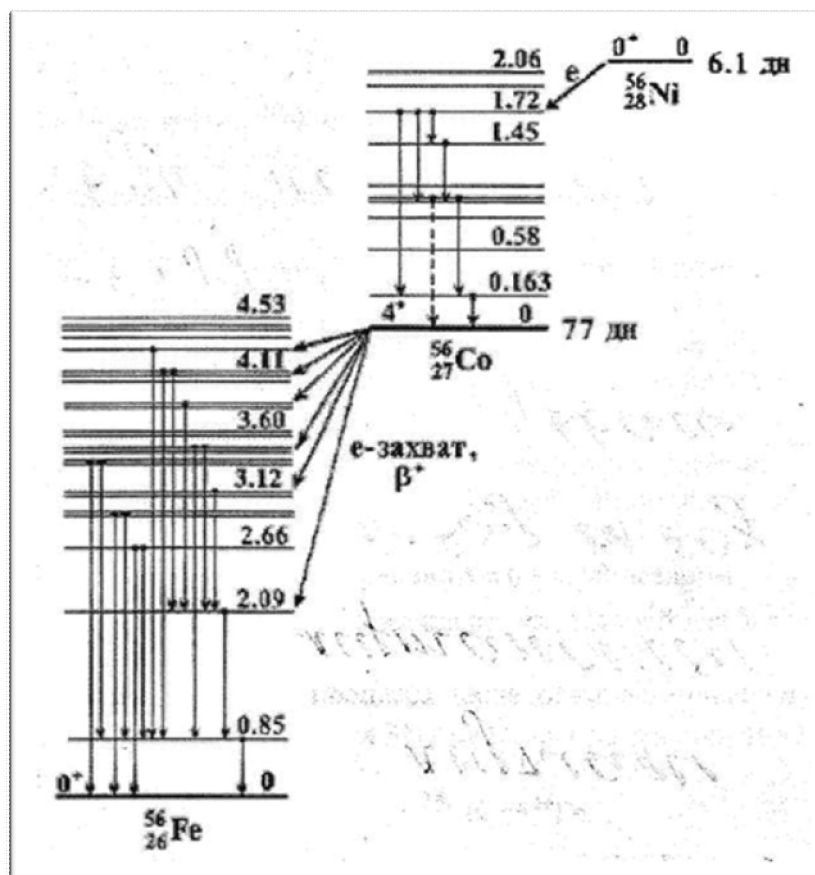
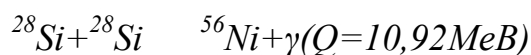
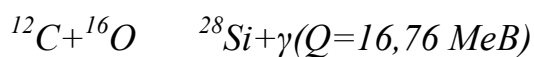
Yuqori yorutuvchanlikga ega o'ta yangi yulduz yorqinligining vaqt birligida bog'likligi keltirilgan. O'ta yangi yulduzlar portlashi natijasida ajralib chiquvchi energiya $10^{51} - 10^{54}$ erg .

Qanday sharoitlarda yulduz o'ta yangi bo'lishi mumkin. Bu yangi bosqich katta yulduz evolutsiyada termoyadroli sintez reaksiyasi tugasa va yulduzning markazida temir guruhidagi yadrolar hosil bo'laganda paydo bo'ladi. Temir yadrolari hosil bo'lgandan keyin yulduz markasining yadrolsi qizishi to'xtaydi va yulduz yadrosi garvitatsiya kuchi ta'sirida siqila boshlaydi. Yulduz yadrosida umuman boshqa yadrosi yengilroq yadrolarga α – zarralarga, neytronlar va protonlarga parchalanadi.



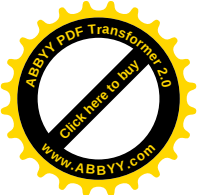
6 – rasm. Yangi I – tip yulduzlar yorqinlik egrisi

I – turdagi o'ta yangi yulduzlar I – turdagi o'ta yangi yulduzning yorutuvchanlik garafik 6 – rasmda ko'rsatilgan. 2 hafta ichida yorutuvchanlik maksimumga yetadi, keyin 2 hafta davomida tez pasayadi, keyin ekisponentsiyal qonun bo'yicha susayadi. I – turdagi o'ta yangi yulduzning charaqlash sababi uglerodning yonishi hisoblanadi, degan g'oyani 1960 yilda Fauler va Xayl ta'kidlagan. I – turdagi o'ta yangi yulduzlar oq karliklar turidaga kompakt yulduzlardan paydo bo'ladi. Portlash sababi shundan iboratki, kelgusi o'ta yangi yulduz ikkilamchi yulduzlar tizimiga kiradi. Yuldoshdan karlikning kuchli gravitatsiya maydoni bilan tortishadigan modda muntazam uning ustiga tushadi, bu esa oq karlikning uglerodli kislorodli yadrosining massasi oshishiga olib keldi. Uglerod markazida charaqlaydi va tashqariga nurlanish tarqatadi [3,6,9]



7 – rasm. $^{56}\text{Ni} \rightarrow ^{56}\text{Co} \rightarrow ^{56}\text{Fe}$ ushbu o'tishdagi β va γ - o'tishlar. Energetik sathlar ustida yadrosi uyg'iotish energiyasi Mev keltirilgan.

Kremniyning portlab yonishida o'ta yangi yulduzlar qobig'i 6,1dan yarim yemirilish tarqalashli davr bilan ^{56}Ni radiaktiv izotop hosil bo'ladi. (7 – rasm). Keyingi ^{56}Co yadrosining hosil bo'lishiga 1,72 MeV energiya bilan qo'zg'almas holda olib keladi. Bunday enegiyaning ultrabinafsha nurlanish kvantining modda bilan o'zaro ta'sir etish mexanizimi kompton nurlanish hisoblanadi. Natijada fotonlar energiyasi $\sim 100 \text{ keV}$ gacha kamayadi, fotoeffekt natijasida ular samarali yutiladi bu esa yulduz moddasining qizishiga olib keladi. Yulduzning kengayishiga qarab yulduzda modda zichligi pasayadi, fotonlar to'qnamashuvi kamayadi nurlanishni yutgandan 30 sutkadan keyin fotonlarning yulduz moddasi bilan



to'qnashishish soni 1 gacha kamayadi., ultrabinafsha nurlanish yulduzdan erkin chiqadi. Bu vaqt oralig'i egri yorug'likning ekisponensiyal pasayishiga o'tishga to'g'ri keladi. Bu katta vaqt ichida ^{56}Co ultrabinafsha nurlanish manbai bo'ladi. Nurlanishining tajribada olingan o'zgarishi bu modelni tasdiqlaydi. Energiy ajralishining qo'shimcha manbai pozitronning ^{56}Co yadro bilan to'qnashishi hisoblanadi. Poritronlar ultrabinafsha nurlanish kvantlar kabi yulduz moddasini qizdiradi. Shunday qilib I – turdagi o'ta yangi yulduzlarning energetik nurlanishi ma'lum darajada $^{56}\text{Ni} - ^{56}\text{Co} - ^{56}\text{Fe}$ tarqalish zanjiri xususiyatilar bilan aniqlanadi. Ultrabinafsha nurlanish kvantlar ko'rinishda nurlanuvchi energiya I – turdagi o'ta yani yulduzlarning barcha issiqlik nurlanishini oshiradi. Yulduzlararo muhitga tashlashlanadigan massa $\sim M_{\odot}$ ni tashkil etadi. Ultrabinafsha – kvantlar spektri tahlili o'ta yani yulduzlar dinamikasi haqidagi muhim ma'lumotni berishi mumkin. Ultrabinafsha kvantlarni kuzatish maddaning nurlanish tezligi va portlovchi qobiqning hajmini boholashga yordam beradi. ^{56}Co dan chiziqlarni kuzatish portlash mexanizmining dinamikasini tushinishga imkon beradi. ^{56}Ni va ^{56}Co dan Ultrabinafsha kvantlar bir xil yutiluvchi modda qalinligi orqali o'tishi kerak. ^{56}Co portlash jarayonida yuzaga keladi. SN 1987A dan ^{56}Co Ultrabinafsha nurlanishini ro'yhatga olish jarayonida ma'lum vaqt davomida uning jadalligining o'sishi ko'zatilgan. Yulduzning tashqil qobig'i yulduzlararo muhitda kengayib Ultrabinafsha kvantlar uchun shaffof bo'ladi. Bu jarayon davomida ajralgan energiya 1987 yil maboynida SN 1987 A qoldig'ining yorqin nurlanishni $^{56}\text{Ni} - ^{56}\text{Co} - ^{56}\text{Fe}$ zanjirida yadroning hosil bo'lishi mexanizimi jadallashtiradi. Ultrabinafsha nurlanishida ko'zatilib istalgan o'ta yangi yulduzlar turiga mansub bo'lishi mumkin [3,6,9,11]

II – turdagi o'ta yangi yulduzlar. Ular kattaroq yulduzlardan kelib chiqadi (SN 1987 A aynan ana shu turga tegishli). Quyda massasi $25 M_{\odot}$ yulduzlarning ikki modelidagi nukilosintezning nazariy hisob – kitobi natijalari keltirilgan, u o'z ichiga kimyoviy tarkibning temir yadroning kallaps davrigacha bo'lgan



evolutsiysini oladi. Alohida detallarni ko'rib chiqish bundan hisob – kitoblar qanday bajarilishi haqida tasavvurlarni beradi. Modellar elementlarining boshlang'ich tarkibi bilan farq qiladi.

2 – Jadval

Z	Element	A_{mix}	A_{max}	Z	Element	A_{min}	A_{max}
2	He	4	4	17	Cl	35	38
6	C	12	14	18	Ar	36	41
7	N	13	15	19	K	39	42
8	O	15	18	20	Ca	40	49
9	F	17	19	21	Sc	43	49
10	Ne	20	23	22	Ti	44	51
11	Na	24	24	23	V	47	52
12	Mg	23	27	24	Cr	48	55
13	Al	26	28	25	Mn	51	56
14	Si	27	31	26	Fe	52	59
15	P	30	33	27	Co	55	60
16	S	31	37	28	Ni	56	65

O'ta yangi II – tip yulduzlarning evolutsiyasini hisoblashda hisobga olingan elementlar tarkibi.

Model I. elementlarining boshlang'ich tarkibi ko'rinishiga o'xshashdir. Model I galaktikamiz uchun xos bo'lgan izoholi yulduzlarini tavsiflaydi. Model II $Z > 3$ dan elementlarning boshlang'ich tarkibi Quyoshning 1% ni tashkil qiladi [3]

Model II ni Galaktika evolutsiyasining ilk bosqichlarida mavjud bo'lgan II tipli yulduzlarni tasniflaydi. Elementlar tarkibi 2 – jadval) har qanday ikkilamchi reaksiyalarni o'zaro bog'libchi yadrolarni o'z ichiga oladi, u kiruvchi va chiquvchi kanallarda n , p , α , γ , shuningdek $\alpha + \alpha + \alpha$. $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$, $^{12}\text{C} + ^{16}\text{O}$, $^{16}\text{O} + ^{16}\text{O}$ reaksiyalariga ega. Shuningdek zaif o'zaro ta'sir natijasidagi reaksiyalar ham

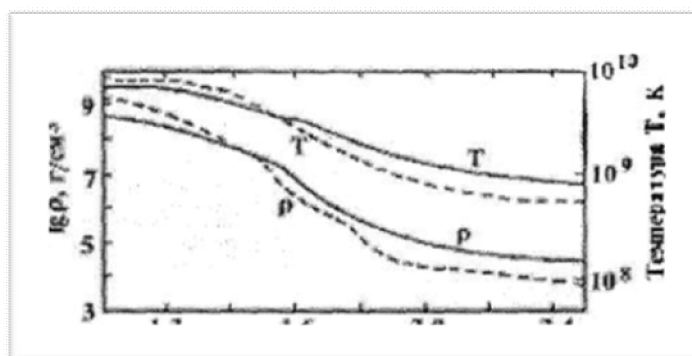
kiradi (e^- , ν), (e^+ , $\bar{\nu}_e$) Elektron hisoblash natijalari yordamida yulduz evolutsiyasi hisoblanadi. Vodorod, uglerod, neon, kislorod, kremniyning yonish bosqichi hisobga olinadi. Ikkita modellar uchun kollaps vaqtidagi yulduzlar xarakteristikasi 2 – jadvalda keltirilgan.

2 – jadval

I va II tip modellardagi yulduzlarning solishtirma xarakteristikasi.

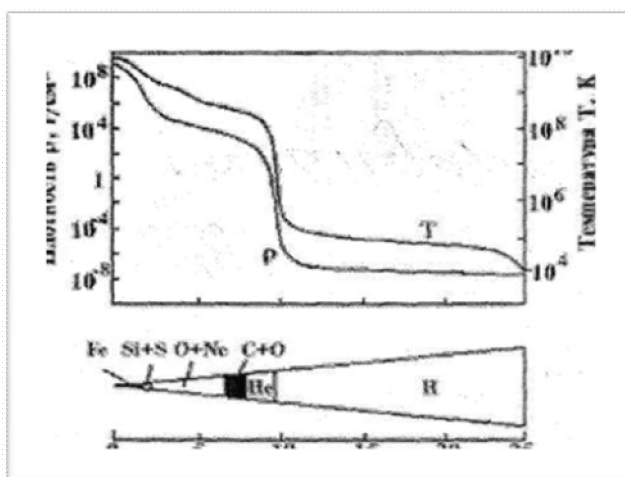
Модель	Масса, $M_{\odot}$	Радиус, см	Температура поверхности, К	Фотонная светимость, эрг/с
Модель I	25	$6.49 \cdot 10^{13}$	4370	$1.09 \cdot 10^{39}$
Модель II	25	$1.27 \cdot 10^{13}$	9790	$1.05 \cdot 10^{39}$

Kollaps vaqtda ikkala tuldaz o'ta gigant xarakteristikaga ega. Model II yuzaning kichik radiusini va yanada yuqori harakatini beradi. Ikkila turdagi yulduzlarning ichki sohasi uchun harakat va zichlikni solishtirish 11 – rasmda keltirilgan.



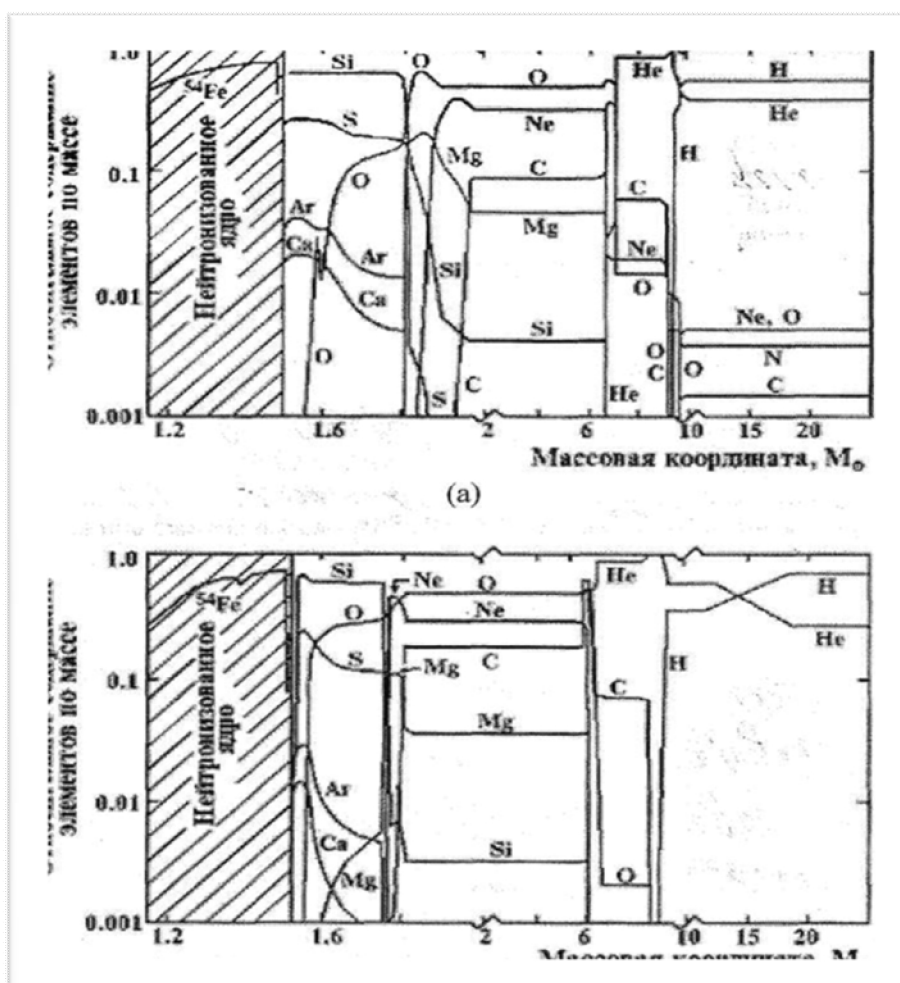
8 – rasm. Zichlik lagarifning temperaturaga bog'liqligi $25 M_{\odot}$ - tipdagi yulduzlar uchun

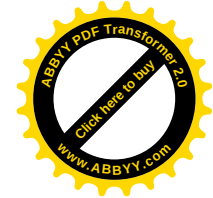
Harakat va zichlik mantiyada kamayadi va vodorodli qobiqda tushadi. 8 – rasmda ko'rinib turgandek, evoluyusiya oxirida kollaps oldida katta yulduzlarda $10^9 - 10^{10}$ K harakatgacha qizdirilgan zich yadro ($\rho \sim 10^8 - 10^{10} \text{ g/cm}^3$) hosil bo'ladi. Temir tik elementlaridan iborat bu yadroning massasi $\sim 1 - 2 M_{\odot}$ radiusi $\sim 10^7 - 10^8 \text{ sm}$ 9 – rasmda yulduz ichida elementlarning tarqalishi ko'rsatilgan.



9 – rasm. Massasi katta bo'lgan yulduz xarakteristiklarning gravitatsion kollaps oldidan massa va zichlik bog'likligi

Model I va II uchun kimyoviy tarkibi 9 – rasmda ko'rsatilgan.





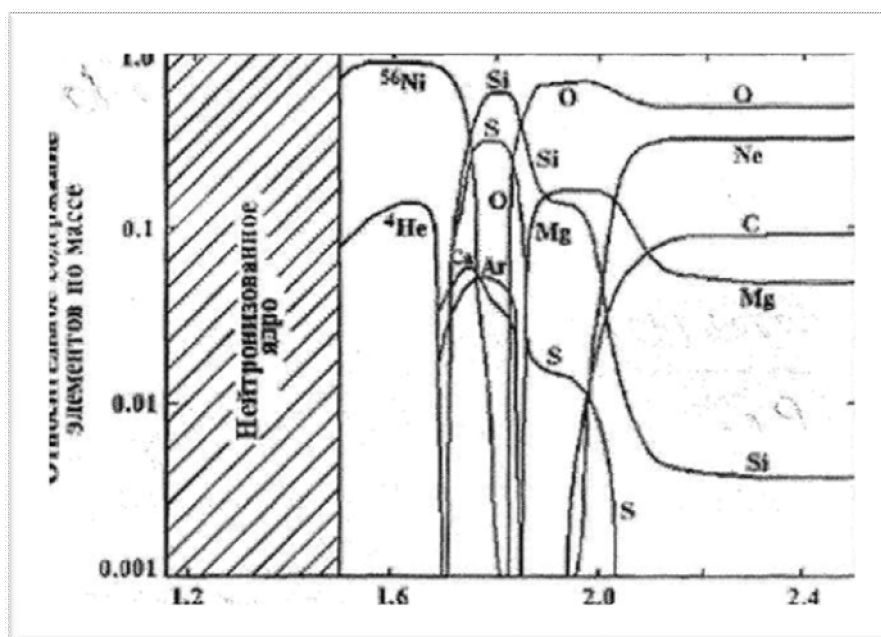
10 – rasm. I (α) va II (β) modellar uchun yulduzlarning portlashdan oldingi kimyoviy tarkibi.

X o'q bo'yicha quyosh massasi birligida massali koordinata qo'yulgan. Asosiy elementlar uchun ikkala holda bir xil taqsimlanishi bo'ladi.

Temir yadro neytronlashgan maddaga kirgan va kremniy, oltingugurt, kislorod, neon, uglarod va geliydan iborat moddlarning qatlami bilan o'ralgan. Buning hammasi vodorodli qoboq bilan o'ralgan. Model I holatida yulduzning tashqi qatlami neon va kislorod elementlari bilan yanada ko'proq boyitilgan. 10 – rasmda keltirilgan elementlarning taqsimlanishi o'ta yangi yulduzlarning davriga to'g'ri keladi. O'ta yangi yulduzlar evolyutsiyasi tarixi oldingi yulduzlardan farq qilmaydi. Ilk bosqichdagi asosiy farq shuki, yulduz massasining kattaligi bilan asoslangan evolyusiya vaqtining kamayishdan iborat. Kremniyning yonish reaksiyasi bir sutka davomida sodir bo'ladi. Yulduz markazida kremniyning qoboq ichida temir yadro va uzoqlashgan qatlamlarda elementlar sintezi va temoyadroli jarayon hisobidan energiya ajralib chiqisi davom etadi. Temir elementlaridan iborat markaziy soha siqilaboshlaydi. Biroq energiya yadroli manbai tugagan, chunki yulduzning markaziy qismida hosil bo'lgan atom yadrolar bog'lanish energiyasiga ega. Zarralarni to'qnashtiruvchi harakat va kinetik energiya shunday kattalikka yetadiki, unda sust bog'langan yadrolar reaksiyasini beradi. Yadroli reaksiyada muhim sifatli o'zgarishlar bo'ladi. Temir yadrolari yengilroq fragmentlarga bo'linadi. $5 \cdot 10^9$ K haroratda temirning neytronlarga, protonlarga va geliy yadrolariga, fotonlarga perchalanish reaksiya energiya yutilishi bilan sodir bo'ladi. Vodorodning temirga aylanishida yulduzda ajralgan energiya temirning yangi geliy, vodorod, neytronga aylanishi uchun sraflanadi. Tarqalish mahsulotlar va yengil zarralar – protonlar, neytronlar, α – zarralar o'rtasidagi reaksiyaning ko'p sonli kanallari ochiladi. Bu reaksiyada energiya yutilsa, yulduzning markaziy qismi soviy boshlaydi. Shu bilan bir qatorda sust o'zaro ta'sir natijasida sodir bo'ladigan jarayonlar muhim ro'l o'ynaydi. Katta zichlikda

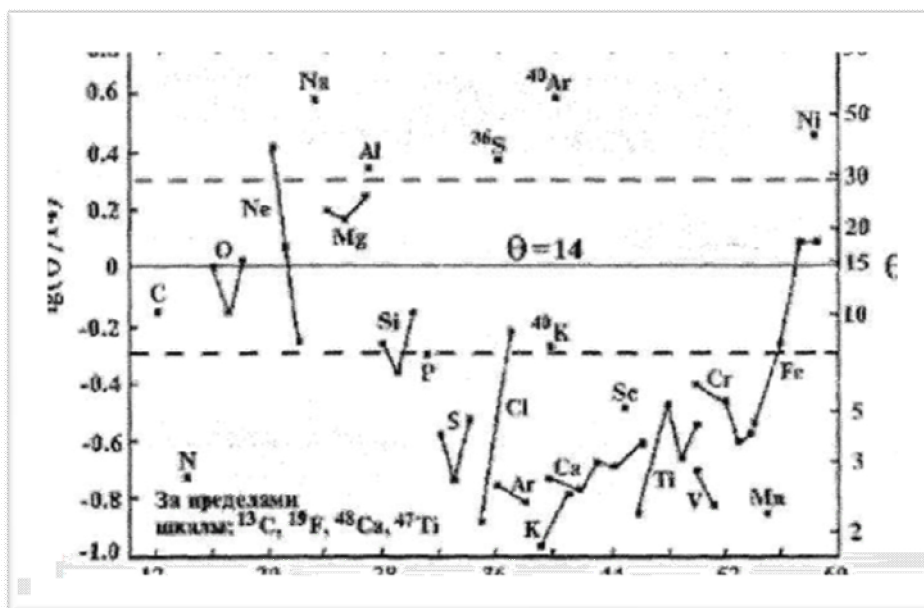


elektronlar energiyasi shunchalik kutariladiki, ularni tutish natijasida $^{56}\text{Fe} - ^{56}\text{Mn}$ (3,7 MeB) va $^{56}\text{Mn} - ^{56}\text{Cr}$ (1,6 MeB) yadrolar massasining har xilligi to'ldiriladi. Shunday qilib $(A,Z)^+e^- \rightarrow (A,Z-1) + \nu_e$ reaksiyasida elektronlarni yadro tutib olishi oqibatida yulduzning markaziy qismi elementlari neytronlarga to'ladi. Bu jarayon moddaning neytronlashuvi deb ataladi. Tez sovish jarayoni yulduzning keyingi siqilish bilan kuzatiladi. Yulduzning markasiga tushuvchi maddoning kinetik energiyasi yulduzning tashqi qatlamining yonishi tezligining tez oshishiga olib keladi. $10^9 - 10^{10}$ K haroratda tashqi zonadagi kislorod bir necha daqiqa davomida yonib tugaydi. yulduz ancha og'ir bo'lsa, u holda bir necha daqiqa davomida ajralib chiquvchi energiya Quyosh tomonidan bir nacha milliardlab yil davomida ajraladigan energiyaga tengdir. Bir necha soniya davomida Yulduzning markaziy qismining zichligi yadroli modda zichligi ($10^{14} - 10^{15} \text{ g/sm}^3$) ga yetadi. yulduz yadrosining harorati $10^{11} - 10^{12}$ K ga ko'tariladi Bu sharoitda neytronning hosil bo'lishi bilan $p + e^- \rightarrow n + \bar{\nu}_e$ protonning neytronlarga aylanish reaksiyasi boradi. Neytronli yorituvchanli yirik kattalikka 10^{53} erg/s yetadi. Neytrino yulduzni erkin tark etadi. Neytronli yadroning hosil bo'lishi bilan yulduzning markaziy qismining siqilishi keskin tugaydi va urilish to'lqini yuzaga keladi. Bu to'lqinning xususiyatlari, uning shakillanish va tarqalish detallari tashqi qatlamlarining moddalari chiqarib tashlanishi yetarlicha tekshirilmagan. Shuning uchun bu bosqichning hisob kitobi sxemali 11 – rasmda keltirilgan natijalat neytronlashgan yadrodan tashqari barcha modda chiqarib tashlanishidan darak beradi [4]



11 – rasm. Ichki sohadagi elementlarning joylashishi

O'ta yangi yulduzlarning yuqori qamirilgan portlash nazariyasining asosiy tasdig'i Yerning neytronli detallari bilan SN 1987 A portlashda neytronli impulsni ro'yxatiga olish hisoblanadi. $M < 2.3 M_{\odot}$ sahoda joylashgan yulduzning portlashidagi harorat shunchalik ko'tariladiki, portlovchi nukliarsintezlarning kechishi uchun sharoit yartadi, uning natijasida bir necha daqiqa davomida bu sohadagi yulduzning element tarkibi qayta taqsimlanadi (11 – rasm). Yulduzning boshqa qismining moddasi ($M > 2.3 M_{\odot}$) kimyoviy tarkibi o'zgarmasdan yulduzlararo muhitga tashlanadi. Portlovchi nuklyeosintez natijalari 2 – jadvalada va 12 – rasmda kaltirilgan. 12 – rasmda portlovchi nukliyeosintezda hosil tashlanuvchi elementlarning tarkibi solishtiriladi.

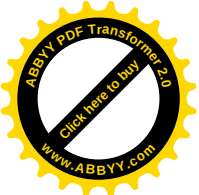


12 – rasm. Yangi II – tip modelining portlashdan keyin hosil bo’lgan elementlarning solishtirilishi

Sintezlangan yadrolarning massaga ko’ra taqsimlanishi. Turli elementlarning nisbiy tarkibi ^{16}O ga muljallangan. ^{16}O uchun boiyitish koefitsienti 12 ni tashkil etad. Ya’ni ^{16}O izotopining har bir yadrosiga ^{16}O ning 13 yadrosi hosil bo’ladi. 12 – rasmda keltirilgan ma’limotlar solishtirilishdan qo’ydagi xulosalarga ega bo’lishimiz mumkin.

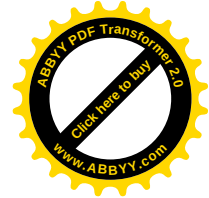
Model doirasining Quyosh tizimida oltingugurt elementlari ason tarqalidi. Oltingugurdan temirgacha bo’lgan sohada yadrolarning umumiy taqsimligini ko’zatish. Chunki bu xususyat alohida izotoplar uchun emas, balki barcha yadrolar uchun xosdir. Shunga o’xshash natijalar kam massali ($M \sim 10M_{\odot}$) o’ta yangi yulduzlarning portlashi hisoblanadi. Portlash paytida qobiqning maksimal harorati $(2 - 4) 10^9 \text{ K}$ ga yetadi, bu esa kislorodning jadal yonish uchun yetarli emas. Agar bunday gipoteza yanada etarli hisob – kitoblar bilan tasdiqlansa, bu oltingugurtdan temirgacha bo’lgan elementlar yanada og’irroq yulduzlarning portlashda sintezlanishini anglatadi.

$$(M > 25M_{\odot})$$



Hisob – kitoblar ^{13}C , ^{14}N , ^{19}F yadrolarning kam tarkibina beradi. Bu elementlar qizil gigantlarda hosil bo'ladi va yulduzlararo muhitga o'ta yangi yulduzlarning portlamagan bosqichi hisoblanadi.

O'ta yangi yulduzlar massasini yo'qotish mexanizimi evolyusiya jarayonida hosil bo'lgan elementlarning yulduzlararo muhitga tashlanishda katta ro'l o'ynaydi. Agar portlashdan katta qismi saqlansa u holda yengil elementlar – vodorod va geliydan iborat o'ta yangi yulduzlarning tashqi qatlamigina yulduzlararo muhitga tashlanadi. Shu elementlar bilan birgalikda portlovchi nukleosintez hatijasida hosil bo'lgan yanada og'ir elementlar ham tashlanadi. Bunda yulduzning ichki qatlami teginilmaydi va shuning uchun yulduz evolyusiyasining sekin bosqichidagi termodinamik muvozanat sharoitida yonish natijasida hosil bo'lgan elementlar yulduz ichida qoladi. O'ta yangi yulduzlarning portlashi natijasida yulduzlararo muhitga yulduzning katta massasi tashlansa, u holda tashlangan elementlarning tarkibi ko'p darajada yulduzning termodinamik yonish sharoitida hosil bo'lgan turli elementlarning nisbiy tarkibini aks ettiradi. O'ta yangi yulduz II ning portlash mexanizimi o'rganilmoqda. Yadroli sintez reaksiyasidan keyin yulduzlar zich neytronli yadroning shakillanishi bilan o'ta yangi yulduzlar kabi portlaydi. O'ta yangi yulduz o'rnida neytronli yulduz qora o'ra qoladi. Massasi yetarli bo'lmagan yulduzlar yadroli reaksiyaning tugashi bilan muntazam soviy boshlaydi. Bunday yulduzlar massasiga qarab oq karliklar neytronli yulduzga aylanish mumkin [4,7]



III – BOB. Yulduzlar evolyutsiyasining oxirgi bosqichida hosil

bo'luvchi obyektlar

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

Agar boshlang'ich paytda uzoqda tinch turgan jismga yerga erkin tushish imkoni berilsa, u yer bilan to'qnashishda gravitatsion maydonda tezlashishi natijasida olgan tezligiga ega bo'lib, bu tezlik ikkinchi kosmik tezlik $v = \sqrt{2GM_{yer}/R_{yer}} = 11,2 \text{ km/s}$ - ga teng bo'ladi. m massali jismni yer atmosferasiga kirishida va yer sirti bilan to'qnashishida, uning boshlang'ich potensial (gravitatsion) energiyasiga teng bo'lgan kinetic energiyasi - $mv^2/2$ issiqlikka aylanadi. Masalan meteorit tushganida ana shunday bo'ladi. Endi muhitni neytron yulduziga tushishini tasavvur etaylik. Tortilish muhitni yorug'lik tezligini birdan uch qismiga teng tezlik (100000 km/s) gacha tezlashtiradi. Natijada bunday muhitni neytron yulduzi sirti bilan to'qnashishida zarrachalar tinchlikdagi energiyasi mc^2 - ni 10-15% i ajraladi (bu energiya yadro reaksiyalarida ajraladigan energiyadan o'nlab marotaba ortiqdir). Muhitni obyekt yuziga bunday tushishiga uning akkretsiyasi deyiladi. Akkretsiya tufayli gravitatsion energiya ajraladi va muhit tushayotgan obyekt massasi oshadi. Akkretsiya tufayli neytron yulduzining sirt temperaturasi million va o'n million gradusgacha ko'tariladi. Bunday yuqori temperatralarida neytron yulduzi kvantlarining xarakterli energiyasi 1-10 keV bo'lgan rentgen nurlanishini chiqarishi kerak. Akkretsiyalanuvchi muhitning yetarli miqdorigacha neytron yulduzi rentgen nurlanishi chiqarib turadi, nazariyaning ko'rsatishicha neytron yulduzining massasi kritik massadan oshgandan keyin u qora tuynukka aylanadi.

Qora tuynuklar ham muhitni unga akkretsiya tufayli nurlanishi mumkinmi? Yuqorida qays etilgan ediki, qora tuynuklar juda kuchli gravitatsion maydonga ega bo'lib, ularga tushuvchi muhitni yuqori energiyagacha tezlashtirishi mumkin. Lekin qora tuynuklarni ularga muhit tushganda energiya ajraladigan yuzasi yo'q.



Muhitni sferik-simmetrik (radial) tushganida muhit gravitatsion radius ostiga ketib, o'zi bilan kinetic energiyasini olib ketadi. Lekin muhit radial bo'lmagan holda tushayotgan bo'lsa hammasi boshqacha bo'lishi mumkin, tezlashuvchi zarralar o'zaro to'qnashishi mumkin (bu gazli bulutlarga nisbatan harakat qilayotgan qora tuynuk uchun xarakterlidir).

1964 yilda rus fizigi L.B.Zeldovich va AQSHlik astrofizik Y.Solpiterlarni ko'rsatishicha, gaz bulutlarida qora tuynuklarni tovush tezligidan katta tezlik bilan harakat qilganlarida hosil bo'luvchi zarbali to'lqinlarda, o'zaro ta'sir etuvchi zarralar tinchlikdagi massasini 10-20%i ajralishi mumkin. Zarbali to'lqinda zarralar gravitatsion radius yaqinida qancha yaqin joylashgan bo'lsa, shuncha katta tezlikka ega bo'lib, ularni o'zaro to'qnashishida shuncha katta energiya ajraladi. Zarbali to'lqinlardagi muhit o'n gravitatsion radius masofada o'n million gradusgacha qiziydi. Gravitatsion radius yaqinida esa gravitatsion maydon shu darajada kattaki, zarralarning o'zaro ta'sirida hosil bo'luvhci nurlanish juda qizarib chiqadi yoki umuman qora tuynuk tomonidan yutiladi. Lekin 2-3 gravitatsion radiusdan uzoqda o'zaro ta'sir etuvchi zarralar energiyasi hali katta va gravitatsion maydon chiquvchi nurlanish energiyasiga yetarlicha ta'sir ko'rsatmaydi. Shunday qilib neytron yulduzlari ham, qora tuynuklar ham ularga muhit akkretsiya bo'layotganda effektiv nurlanish manbai bo'la oladi [13,16]

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

Yakka yulduzlarni evolyutsiyasi jarayoni natijasida hosil bo'luvchi, yakka relyativistik obyektlar yoki o'ta yangi portlash natijasida hosil bo'luvchi relyativistik obyektlarga yulduzlararo gaz akkretsiyalanadi. Lekin yulduzlararo gazning zichligi juda past (bitta atom 1 sm^3 hajmda) va bunday gaz yuqori yorqinlikni taminlay olmaydi. Qo'shaloq yulduzlarda esa fazodagi gaz bilan



normal yulduz muhiti akkretsiya manbai bo'lib hisoblanadi va bunda akkretsiya o'n million yillar davom etadi.

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

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

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

1969 yilda L.B.Zeldovich va N.I.Shakura akkretsiyalanuvchi neytron yulduzlarini rentgen nurlanishini xususiyatlarini analiz qilib, bunday nurlanish spektrini hosil qildilar. Bu spektr galaktik rentgen manbalarini spektriga yaqin bo'lib chiqdi.



Pulsar, neytronli yulduzlar ochilgandan keyin ularning asosiy xususiyati nurlanishini impulsli xarakteri aniqlandi. Nurlanishlarining impulsli xarakteri neytronli yulduzlarni aylanishiga va kuchli magnit maydoniga ega ekanligiga bog'liqligini biz yuqorida ko'rdik. Qo'shaloq yulduzlarning komponentalaridan birini tez evolyutsiyasi natijasida hosil bo'lgan neytron yulduzi o'zini qanday tutadi? Bu muammoni analiz qilib rus astrofizigi V.F.Shvartsman ko'rsatdiki, agar o'ta yangi portlash natijasida hosil bo'lgan neytron yulduzi qo'shaloq yulduzi komponentasi bo'lib qolsa, u rentgen nurlanishi manbasiga aylanadi. Bir yildan keyin "Uxuru" yo'ldoshi yordamida qo'shaloq sistemalarda birinchi rentgen pulsarlari Gerkules X-1 va Sentavr X-3 qayd etilgan edi. Hozirgi vaqtda qo'shaloq yulduzlardagi rentgen manbalari to'g'risida ancha material to'plangan. Bu material asosida rus astrofiziklari A.F.Illarionova va R.A.Syunyayeva hamda AQSH lik olimlar F.Lemba, K.Petika tomonlaridan (Nyuton mexanikasi ramkasida) neytron yulduzlari magnit maydonini qo'shni yulduzdan oquvchi mihit bilan ta'siri masalasi ko'rib chiqilgan edi. Hisoblashlarni ko'rsatishicha neytron yulduzi bunday ta'sir natijasidagi evolyutsiyasida bir necha etaplarni o'tishi kerak. Bunda u boshlang'ich paytda yosh tez o'zgaruvchi radiopulsar ko'rinishida (bu vaqt mobayniga pulsarning ejeksiyalanish fazasi deyiladi) kuzatilishi lozim. Neytron yulduzini aylanishini sysayishi bilan nisbatan uzoq vaqt davom etuvchi evolyutsiya davri boshlanishi kerak. Bu vaqtda yulduzdan regulyar impulsar yo'qoladi (bunday fazaga propeller fazasi deyiladi). Oxir oqibat akkretsiyalanuvchi rentgen pulsari deb ataluvchi fazasi boshlanadi [4]

3.2. § Oq karliklar

Massasi kritik massadan kichik bo'lgan yulduzlar uchun gravitatsion siqilish Oq karlik deb ataluvchi stadiyadan to'xtaydi. Oq karlik zichligi 10^7 gr/sm^3 dan katta bo'lib, yuzining temperaturasi $\sim 10^4 \text{ k}$ bo'ladi. Bunday yuqori temperaturada atomlar to'la ionlashgan bo'lib, yulduz ichida yadrolar, aynigan elektronlar gazini hosil qiluvchi elektronlar daryosi ichida joylashgan bo'ladi. Bunday gazning



bosimi yulduzni yana gravitatsion kollapsini chegaralaydi. Aynigan elektronli gaz bosimi kvant tabiatiga ega bo'ladi. Bosim elektronlar bosimi Pauli prinsipiga bo'y sunganligi uchun vujudga keladi. Pauli prinsipi har bir elektron egallashi mumkin bo'lgan chegaraviy hajmni belgilaydi. Tashqi bosim bu hajmni kamaytrish qobiliyatiga ega emas. Oq karlikda barcha elektronlar o'zining chegaraviy egallashi mumkin bo'lgan hajmiga erishgan bo'lib, aynigan elektronli gazning bosimi gravitatsion siqilishni muvozanatlaydi. Kvant mexanikasidagi aniqmaslik prinsipidan foydalanib, Oq karliklarni maksimal massasini baholaymiz. Kvant mexanikasidagi aniqmaslik prinsipidan

$$\Delta p \cdot \Delta x \approx \hbar$$

taxminan $p \approx \Delta p$, $x \approx \Delta x$ deb olamiz.

Gravitatsiya kuchlari ta'siri ostida elektronlar x-masofagacha yaqinlashib p_e -impulsga ega bo'lsin. Sistemada electron zichlik $n=1/x^3$ bo'lganligi sababli, aniqmaslik prinsipidan

$$p_e \approx \hbar n^{1/3}$$

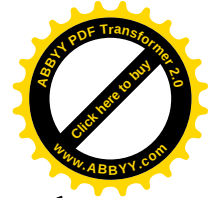
ekanligini topamiz. Elektronli gaz p bosimi quyidagi munosabatdan aniqlanadi.

$$p \approx n p_e \approx \hbar n^{4/3}$$

Bu formulani chiqarishda elektronlar yorug'lik tezligiga yaqin tezlikga ega deb olindi.

Muvozanatlik shartida bajarilganda, elektronli gaz bosimi gravitatsion bosimni muvozanatlashi kerak [4]

$$\left(\frac{3}{5}\right) m_p \left(\frac{GM}{R}\right) = \hbar n^{4/3}$$



Bunda m_p -proton massasi bo'lib, elektronlar konsentratsiyasi va protonlar konsentratsiyasi o'zaro teng deb olingan, bunday tenglik sistemani elektroneytralligidan kelib chiqadi. Haqiqatdan ham

$$\frac{M}{R} = \frac{\hbar c}{G m_p} n^{\frac{1}{3}} = \frac{\hbar c}{G m_p} \left(\frac{M}{\frac{4}{3\pi R^3 m_p}} \right)^{\frac{1}{3}}$$

bo'lib, oq karlik massasi uchun chegara quyidagicha bo'lishini topamiz:

$$M = \left(\frac{\hbar c}{G} \right)^{\frac{3}{2}} \frac{5}{6} \frac{1}{m_p^2} \approx 1,5 M_{\odot}$$

Bunday chegaraviy massaga Chandrasekar chegarasi deyiladi. Shunday qilib oq karlikni chegaraviy massasi $1,4 M_{\odot}$ ga tengdir. Shunday qilib aynigan elektronli gazning bosimi $1,4 M_{\odot}$ katta bo'lgan massani ushlab olmaydi. Agar $0,5 M_{\odot} < M < 1,4 M_{\odot}$ bo'lsa Oq karlikning yadrosi uglerod va kisloroddan tashkil topgan bo'ladi. Agar $M < 0,5 M_{\odot}$ bo'lsa, Oq karlikning yadrosi geliydan tashkil topgan bo'ladi.

Oq karlikning zichligi quyidagi munosabatdan topiladi:

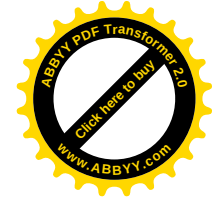
$$\rho \approx n m_p \approx \left(\frac{Pe}{\hbar} \right)^3 m_p$$

Baholash uchun faraz qilamizki electron tezligi yorug'lik tezligi yarmiga tengdir.

U holda $p_e \approx m_e c/2$ (m_e -elektron) tinchlikdagi massasi bo'lib

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

bo'ladi. Massasi Chandrasekar chegarasiga teng bo'lgan yulduz radiusini topamiz

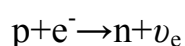


$$R = \left(\frac{31,4 M_{\odot}}{4\pi\rho} \right)^{1/3} \approx 5 \cdot 10^3 \text{ km}$$

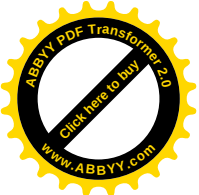
Oq karlikni yorqinligi Quyosh yorqinligini 10^{-2} - 10^{-4} qismini tashkil etadi. Oq karlikning nurlanishi ular zaxiralangan issiqlik energiyasi hisobidan vujudga keladi. Oq karliklar tarkibida Si, S va Ar yadrolari borligini kuzatilishi shunday karliklar borligidan xabar beradiki, ular asosan O, Ne va Mg element yadrolaridan tashkil topgan [4]

3.3. § Neytron yulduzlar

Hisoblashlar ko'rsatadiki massasi $M \sim 25 M_{\odot}$ bo'lgan o'ta yangi portlashi natijasida yulduzlar zichligi katta bo'lgan massasi $\sim 1,6 M_{\odot}$ bo'lgan qoldiq yulduz (neytronli yulduz) qoladi. O'ta yangi stadiyasiga yetmagan massasi $M > 1,4 M_{\odot}$ bo'lgan yulduzlarda ham aynigan elektronli gaz bosimi gravitatsion kuchni kompensatsiyalay olmaydi va yulduz yadro materiyasi zichligiga qadar siqiladi. Bunday gravitatsion kollapsning mexanizmi xuddi o'ta yangi yulduz portlashida kuzatilganidek bo'lib, bunda bosim va temperatura yulduz ichida shu darajaga yetadiki, elektronlar va protonlar bir-biriga siqilib quyidagi reaksiya amalga oshadi



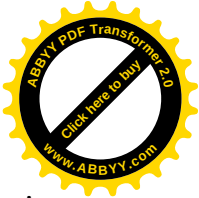
neytrinolar chiqib ketgandan keyin neytronlar hosil bo'ladi. Hosil bo'lgan neytronlar elektronlarga nisbatan kichikroq fazoviy hajmni egallaydi. Natijada zichligi 10^{14} - 10^{15} gr/sm^3 bo'lgan neytronli yulduz hosil bo'ladi. Bunday yulduzlarning xarakterli radiusi 10-15 kmga tengdir. Qandaydir ma'noda neytronli yulduz gigant atom yadrosidan iboratdir. Bunday yulduzlarda yana gravitatsion siqilishga yadroviy materiya bosimi to'sqinlik qiladi, bunday bosim neytronlarni o'zaro ta'siri tufayli hosil bo'ladi. Bunday bosim ham aynigan gaz bosimidek bo'lib lekin yana katta zichlikli neytronli gaz bosimidir. Bunday bosim $3,2 M_{\odot}$ massagacha ushlay oladi. Kollaps davrida hosil bo'luvchi neytrino yulduzni tez



sovitadi. Hisoblashlarni ko'rsatishicha temperatura 100 s mobaynida 10^{11} k dan 10^9 k gacha pasayadi, keyinchalik sovish tezligi kamayadi, lekin astronomik masshtabda tezlik katta. Temperaturani 10^9 k dan 10^8 k gacha pasayishi 100 yilda vujudga kelsa, 10^6 k gacha pasayishi million yilda vujudga keladi. Optik usullarda neytronli yulduzlarni qayd qilish temperaturasi past va o'lchami kichik ekanligi uchun juda qiyindir.

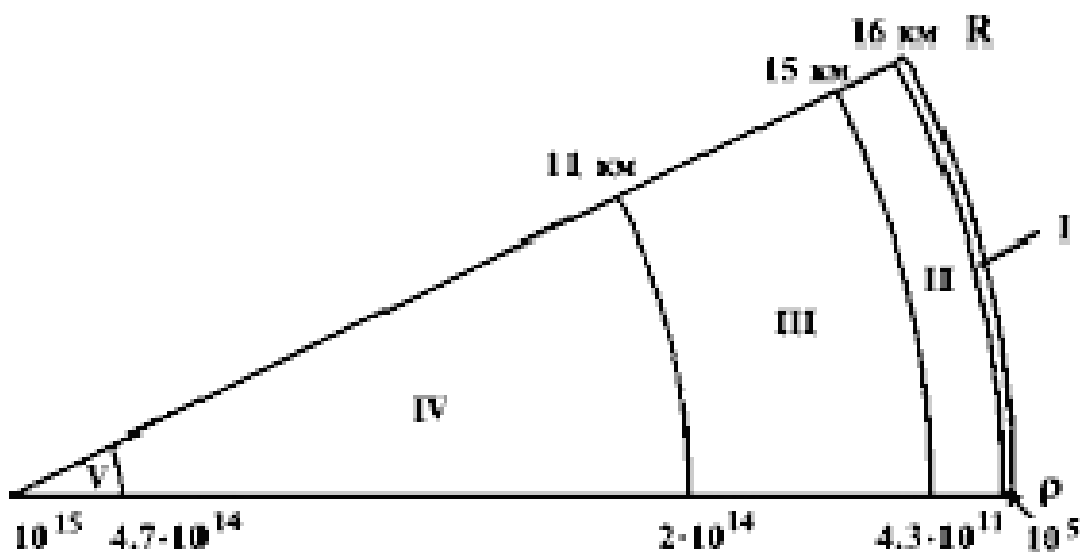
1967 yilda Kembridj universitetida Xyushi va Bell kosmik elektromagnit nurlanish manbai-pulsarlarni ochdilar. Ko'pchilik pulsarlarni impulslarini takrorlanishi $3,3 \cdot 10^{-2}$ -4,3 s intervalida yotadi. Hozirgi zamon tasavvurlariga ko'ra pulsarlar bu massasi 1-3 $M_{\odot}$ bo'lgan diametri 10-20 km bo'lgan aylanuvchi neytronli yulduzdan iboratdir. Faqatgina neytronli yulduzlar xususiyatiga ega bo'lgan obyektlargina bunday tezlik bilan aylanib formasini saqlashi mumkin. Neytronli yulduzni hosil bo'lishida burchak momenti saqlanishi va magnit maydoni tez aylanuvchi pulsarlarni tez hosil bo'lishiga olib keladi. Pulsarlar kuchli $\beta \sim 10^{12}$ gs magnit maydoniga ega bo'lgan obyektlardir.

Pulsarlar magnit maydoniga ega bo'lgan neytronli yulduzlar deb olinadi. Bunday yulduzlarni magnit maydonini o'qi uning aylanish maydoniga mos kelmaydi. Bu holda yulduz nurlanishi (radio to'lqin yoki ko'rinuvchi nur) mayoq nurlanishidek Yer sirtida ishqalanadi. Nur Yerni kesganda impuls qayd etiladi. Neytron yulduzni qayd nurlanishi zaryadlangan zarralarni yulduz magnit maydoni kuch chiziqlari bo'ylab harakat qilmaganlarida hosil bo'ladi. Pulsar bunday nurlanish mexanizmi birinchi marotaba Gold tomonidan ilgari surilgan bo'lib, 9-rasmda ko'rsatilgandir [13,16]



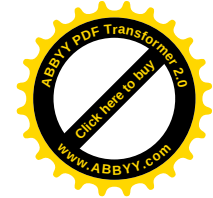
aylanish davri (qayd etilgan impuls davri) aniq o'zgarmas bo'ladi. Hozirgi vaqtda ikkilangan yulduzlarga kiruvchi pulsarlar qayd etilgan. Agar pulsar yo'ldosh asosiy yulduz atrofida aylanayotgan bo'lsa Dopler effekti tufayli pulsardan qayd etilgan impuls davrini variatsiyasi kuzatilishi kerak. Agar pulsar kuzatuvchiga asosiy yulduz atrofida aylanayotib kuzatuvchiga yaqinlashsa Dopler effekti tufayli impuls davri kamayib, uzoqlashayotgan bo'lsa oshadi. Shu hodisa tufayli qo'shaloq yulduzlar tarkibiga kiruvchi pulsarlar qayd etilgan edi. Birinchi marotaba qayd etilgan qo'shaloq yulduzga kiruvchi pulsar PSR1913-16-ni orbita bo'ylab aylanish davri 7 soat 45 minutga teng bo'lsa, xususiy aylanish davri 59 mikrosekundni tashkil etadi. Pulsarni nurlanishi neytron yulduzni aylanishini kamaytirishi kerak. Qo'shaloq yulduz tarkibiga kiruvchi neytron yulduzi yana intensiv rentgen nurlanishi manbai ham bo'lishi mumkin. Massasi $1,4 M_{\odot}$ ga teng bo'lgan 16 km

radiusli neytron yulduzining ichki strukturasi 10-chi rasmda ko'rsatilgandir. Bunda I-tashqi zich



14 – rasm . Massasi $1,4 M_{\odot}$ bo'lgan $R = 16$ km radiusli neytron yulduzining kesimi.

Yulduz turli qismlaridagi zichlik ρ , gr/sm^3 -larda ko'rsatilgan atomlardan tashkil topgan qavatdir II va III oblastlarda yadrolar hajmiy markazlashgan kubik reshyotka joylashgandir. IV oblast asosan neytronlardan tashkil topgandir. V-chi oblast pionlar va giperonlardan tashkil topgan bo'lib, neytron yulduzining adronli markazini hosil qilgan bo'lishi mumkin. Neytron yulduzlarni alohida detallari hozirgi paytda aniqlanayapti. Neytronli yulduzlar hamma vaqt ham o'ta yangi portlash natijasi bo'lavermaydi. Ularni qo'shaloq yulduzlardagi Oq karliklar evolyutsiyasi jarayonida boshqa mexanizm asosida hosil bo'lishi ham mumkin. Yulduz kompaniyondan muhitni asosiy komponenta Oq karlikga akretsiyasi uni massasini oshirishi mumkin. Oq karlikni massasi chandrasekar chegarasidan oshgandan keyin u neytron yulduziga aylanadi. Neytron yulduzi hosil bo'lgandan keyin muhit akretsiyasi yana davom etsa neytron yulduzini massasi oshib ketib qora tuynukga aylanishi mumkin. Bu tinch kollaps deb ataluvchi jarayonga mos keladi [19,31]



Kompakt qo'shaloq yulduzlar rentgen nurlanishi manbai kabi namoyon bo'lishi ham mumkin. Magnit maydonini induksiyasi $B > 10^{10}$ gs bo'lgan neytron yulduziga muhitni akretsiyasi yulduz magnit qutblariga tushishi mumkin. Rentgen nurlanishi neytron yulduzini o'qi atrofida aylanishi natijasida modulyatsiyalanishi mumkin. Bunday pulsarlarga rentgen pulsarlari deyiladi.

Shunday rentgen pulsarlari borki ularga Basterlar deyiladi. basterlarga davriy ravishda bir necha soatdan bir sutkagacha davr bilan nurlanishni yarqirashi (vgleski) vujudga keladi. yarqirashni oshishini xarakterli vaqti ~ 1 sekundga tengdir. Yarqirashni davri 3 sekunddan 10 s gacha bo'ladi. yarqirash davridagi intensivlik odatdagi tinch davrdagi intensivlikdan 2-3 tartibda katta bo'ladi. Hozirgi vaqtda bir necha yuz bunday manbalar qayd etilgandir. yarqirashlar neytron yulduzi sirtiga muhit akretsiyasi natijasida sirtida hosil bo'luvchi termoyadro reaksiyalari natijasida hosil bo'ladi.

Ma'lumki, nuklonlar orasidagi kichik masofalarda ($0.3 \cdot 10^{-13}$ sm) tortilish yadro kuchlari itarilishi kuchlariga aylanadi, ya'ni kichik masofalarda yadroviy muhiti qisuvchi kuchga qarshi ta'siri oshadi. Agar neytron yulduzi markazida zichlik yadro zichligi p_{yad} -dan oshsa va 10^{15} gr/sm³ ga yetsa, yulduz markazida nuklonlar va elektronlardan tashqari yana mezonlar, giperonlar va boshqa massiv zarralar paydo bo'ladi. zichligi yadro zichligidan katta bo'lgan muhit xususiyatlarini o'rganish hozirgi vaqtda boshlang'ich holatda turib juda ko'p muammolarga ega. Hisob-kitoblar ko'rsatadiki $p > p_{\text{yad}}$ -larda pionli kondensat hosil bo'lishi bilan o'tuvchi jarayonlar neytronlashgan muhitni qattiq kristallik holatga o'tishi, giperonli va kvark-gulyonli plazma hosil bo'lishi mumkin. Neytronli muhitni o'ta oquvchan, o'ta o'tkazuvchan holati vujudga kelishi mumkin. hozirgi zamon tasavvurlariga ko'ra yadro zichligidan 10^2 - 10^3 marotaba katta zichlikli muhitda mustahkamlik chegarasiga yaqin bo'lgan atom yadrolari hosil bo'ladi. Yetarlicha chuqur ma'lumotlarni muhit holatini temperatura , zichlik, yadro



materiyasini mustahkamligi protonlar sonini neytronlar soniga nisbatini ekzotik qiymatlarida tekshirish natijasida olish mumkin [19,21]

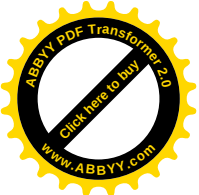
3.4. § Qora tuynuklar

Neytronli yulduzlarda zich upakovka qilingan neytronlar gravitatsion kolaps jarayonida qancha massani ushlashi chegarasi mavjuddir. Bu chegarani hali zichli yadro muhiti zichligidan katta bo'lgan muhit xususiyatlari oxirigacha o'rganilmaganligi sababli hali hisoblash mumkin emas. Aynigan neytronlar hisobidan stabilizatsiyalanadigan yulduz massasining bahosi ko'rsatadiki, bu massa $\sim 3 M_{\odot}$ bo'lishi kerak. Shunday qilib agar o'ta yangi portlashidan qolgan yulduzning massasi $M > 3 M_{\odot}$ bo'lsa, bunday yulduz ustuvor neytron yulduzi bo'la olmaydi. kichik masofalarda ta'sir etuvchi yadro kuchlari ham gravitatsion siqilish kuchiga qarshi tura olmaydi. Qora tuynuk deb ataluvchi obyekt hosil bo'ladi. Qora tuynuklarni asosiy xususiyati shundan iboratki, undan hech qanday signal chiqib keta olmaydi, kuzatuvchi uchun bunday obyekt ko'rinmas bo'ladi. M massali yulduz kollapslanib qora tuynukga aylanib r_g – radiusli sferaga erishadi, r_d - Shvartsschild radiusi va bu radius quyidagi munosabatdan hisoblanadi.

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

Bu formulani ikkinchi kosmik tezlik formulasidagi $v_{k2} = (2GM/R)^{1/2}$ - tezlikni chegaraviy qiymati yorug'lik tezlikga teng deb olib topishimiz mumkin.

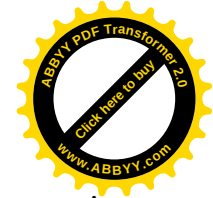
Obyekt qora tuynukga aylangandan keyin uning gravitatsion maydoni shu darajada kuchayadiki, undan hatto elektromagnit nurlanishlar ham chiqib keta olmaydi. Quyosh shvartsschild radiusi 3 kmga, yerniki-1 smga tengdir. Shvartsschild qora tuynuklari aylanmaydigan obyektlar bo'lib, aylanmaydigan, massasi nihoyat katta bo'lgan yulduzlarning mahsulotidir. aylanuvchi massiv yulduz aylanuvchi qora tuynukga aylanadi va bunday qora tuynuklarga Kerr qora tuynugi deyiladi. Qora tuynuklarni (Kosvenniy-teskari) priznaklariga ko'ra agar u qo'shaloq yulduz tarkibiga kirgan bo'lsa kuzatish mumkin. Bunday holda qora



tuynuk yo'ldosh yulduzni gaz muhitini so'riydi. Bunday gaz isib, intensiv rentgen nurlanishi manbaiga aylanishi mumkin va rentgen nurlanishini qayd qilishi mumkin bo'ladi.

Hozirgi vaqtda qora tuynuklar borligini tasdiqlovchi to'g'ri eksperimental natijalar mavjud emas. Lekin koinotda bir nechta obyektlar borki, ularning xususiyatlarini tarkibida qora tuynuk bor deb olib tushuntirish mumkin. Masalan Oq qush XI obyekti bo'lib, bu obyekt qo'shaloq yulduzdan iborat bo'lib, yo'ldoshning aylanish davri 5,6 sutkani tashkil etadi. Oq qush tarkibiga ko'k massasi $22 M_{\odot}$ bo'lgan gigant va pulsatsiyalanuvchi rentgen nurlanishi manbai bo'lgan massasi $8 M_{\odot}$ yulduz kiradi. Bu yulduz qora tuynuk bo'lishi mumkin. (Bunday katta massali obyekt neytron yulduzi bo'lishi mumkin emas.) Yulduzlarning gravitatsion kollapsi natijasida hosil bo'lgan qora tuynuklar bilan birgalikda koinotning birjinslimaslaridan katta portlash natijasida hosil bo'lgan qora tuynuklar ham bo'lishi mumkin. Katta portlash natijasida muhitning birjinslimaslari siqilib qora tuynukga aylangan koinot qolgan qismi kengayib sovigan bo'lishi mumkin. koinot evoyutsiyasini boshlang'ich paytlarida hosil bo'lgan qora tuynuklarga relikt qora tuynuklari deyiladi. faraz qilinadiki relikt qora tuynuklarining ba'zilarini o'lchami proton o'lchamidan ham kichik bo'lishi mumkin [4]

1974 yilda Xoking nazariy yo'l bilan isbot etdiki, qora tuynuklar zarralarni nurlanishi ham mumkin. Bunday zarralarning manbalari virtual zarra va antizarra jufti bo'lishi mumkin. Bunday virtual zarralar jufti odatdagi maydonda shunday tez anigilatsiyalanadiki, ularni kuzatish mumkin emas. Lekin juda kuchli gravitatsion maydonida bu juft o'zaro anigilyatsiyalanmasdan birini maydon qora tuynukga tortib olsa ikkinchisi uzoqlarga ketib kuzatuvchi tomonidan kuzatiladi. Bunday nurlanish qora tuynukning Xoking nurlanishi deyiladi. Bu nurlanishda energiya qora tuynuk ichkarisidan chiqadi. Shuning uchun bunday nurlanish tufayli qora tuynukning massasi va o'lchami kamayib boradi. Baholashlar ko'rsatadiki, qora



tuynuklarning nurlanish tezligi juda kichikdir. O'ta massiv qora tuynuklar vaqti 10^{97} yilga yetadi.

3.5. § Yulduzlarning energiya manbalari

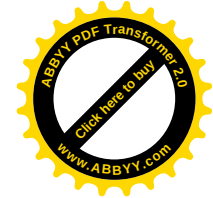
Tabiatda kuzatiladigan har qanday fizik jarayonlarda energiyaning saqlanish qonuni amal qilishi lozim. Yulduzlar o'zlaridan milliard yillar davomida nur tarqatib turadilar. Ular nurlanishining manbai nima dagan savolga javob topish uchun XIX asrdan boshlab ilmiy tadqiqotchilar faol izlanish olib bordilar va quydagi gipotezalar yaratildi;

1. Yu. Mayer tamonidan taklif etilgan gipotezaga ko'ra yulduzlarning yuqori temperaturaga ega bo'lishiga sabab (shu jumladan Quyoshning ham) ularning sirtiga katta tezlikda kometalarning kelib tushishidir, lekin Quyosh sirtiga kometalarning tushish chastotasi aniq bo'lganidan keyin kometalar kinetik energiyasi Quyoshning nurlanishida ajralib chiqadigan energiyasini tuldira olmasligiga ishonch hosol qilindi.

2. G. Gel'mgol's, U. Tomson tomonidan yulduzlar gravitasion siqilganligi sababli temperaturasi ko'tariladi va o'zlaridan nur tarqatadi degan gipoteza ilgari surilgan. Haqiqatdan ham koinotdagi massasi katta ob'ektlar uchun gravitasion siqilishning kuzatilishi o'rinli, lekin bu gepotezaning to'g'riligini Quyosh misolida qarab chiqaylik. Quyoshning birlamchi gaz – chang holatidan siqilish natijasida hozirgi o'lchamiga kelganicha ajralib chiqqan energiya gravitasion potensialga teng bo'ladi.

$$U_{gr} = \frac{GM^2}{R}$$

G – gravitasion doimiylik $M=2 \cdot 10^{33} gr$, $R=7 \cdot 10^{10} sm$ bo'lib Quyosh massasi uning radiusi. Quyosh yorqinligi geologik va paleontologik tekshirishlardan ma'lumki $L=2 \cdot 10^{33} Erg/s$ bo'lib ko'p yillardan beri o'zgarmasdan turibdi [1].



Gravitasion potensial va yorqinlikdan Quyoshning yoshini aniqlash mumkin.

$$t = \frac{U_{gr}}{L}$$

dan 30 million yilga teng ekanligi kelib chiqadi, bu Quyosh yoshining Oy jismlarini va meteoritlarning tarkibini radioaktiv taxlil yordamida o'rganilgandagi haqiqiy qiymatidan ($t=4,5$ milyard yil) kamligi ko'rinib turibdi [2]. Shu sababli yulduzlar va Quyoshning nurlanib turishiga faqat gravitasion siqilish natijasida hosil bo'lgan gravitasion energiya yetarli emasligi kelib chiqadi. Yulduzlar hosil bo'lishida boshlang'ich etapdagi siqilish natijasida uni qiladigan gaz – chang moddaning temperaturasi ko'tariladi. Bunday hol uchun Virial teoremani ko'llasak

$$E_n + 2E_k = 0$$

E_n – potensial energiya, E_k – kinetik energiya bo'lib, agar Quyoshni soddalashgan hol uchun asosan vodorod plazmadan iborat desak

$$E_{kin} = 2 \cdot \frac{3}{2} KT \cdot N ;$$

$$N = \frac{M}{m_p} ;$$

M – Quyosh massasi m_p – proton massasi $E_n = \frac{GM^2}{R}$; E_{kin} – ni aniqlab T' ni topsak ($T=4 \cdot 10^6 K$), topilgan bu qiymat Quyoshning o'rtacha temperaturasiga yaqin Quyosh sirtidagi temperatura $T=6 \cdot 10^3 K$, markazidagi temperaturadagi esa $T=13 \cdot 10^6 K$ bo'lib o'rtachasi yuqorida hisoblab chiqilgan temperaturaga yaqin Virial teoremadan va yulduzlarning issiqlik sig'imi manfiyligidan, yulduzlar nurlanish orqali energiya yo'qotganda temperaturasi pasayish o'rniga ko'tariladi. Bunga sabab nurlanish vaqtida yulduz qisiladi, natijada shuning evaziga temperaturasi ko'tariladi. Shuni takidlash lozimki siqilish natijasida hosil bo'lgan energiyaga yana qandaydir energiya qo'shilgandagina milliard yillar davomida yulduzlarning nur tarqalishini ta'minlab turishi mumkin.



3. A. Eddington tamonidan taklif qilingan modda annigilyasiyasi ya'ni massaning Eynshteyin tomonidan taklif qilingan $E = m c^2$ tenglamasiga asosan energiyaga aylanishi hisobiga hosil qilingan energiya nurlanishining manbai bo'lishi mumkin. Haqiqatdan ham zarra va antizarralar o'rtasida annigulyasiya jarayoni ko'zatildi, lekin Quyoshdagi vodorod plazma asosan proton va elektronlardan iborat bo'lib ular o'rtasida annigulyasiya jarayoni kuzatish ehtimoliyati yo'q.

4. D. Djins tomonidan Eddington gipotizasiga qarshi yulduzlarda radiaktiv emirilish hisobiga energiya hosil bo'lishi mumkin degan g'oyani ilgari suradi. Radiaktiv emirilish vaqtida energiya ajraladi, lekin bu jarayon yulduzlar tarkibini tashkil qiladigan yengil yadrolarda kam kuzatiladi. Yemirilish vaqtida hosil bo'lgan energiya yulduzlarning ichki qismining temperaturasini ming gradusga ko'tarishga yetarli bo'lib, yulduzlar ichki qismidagi temperaturani million gradusga ko'tarilishiga yetarli bo'lmaydi.

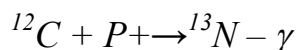
Yuqorida keltirib o'tilgan yulduzlar energiya manbalari to'g'risidagi gipotezalardan tashqari L. D. Londay tomonidan Akresion gipoteza ham 1937 yilda taklif qilindi. Lekin bu gipotezalarni borortasi ham yulduz nurlanish energiya manbalarini to'la tushuntirib bera olmadi.

Yadro fizikasining keyingi yillardagi ravnaqi yulduzlarda sodir bo'ladigan termoyadro reaksiyalari ulardan tarqalayotgan nurlanish oqimlarining asosiy sabablaridan biri ekanligini ko'rsatadi. Yulduzlarda bo'ladigan termoyadro reaksiyalari zanjirli shaklda bo'lib, birinchi bosqichda nuklonlar bilan yengil yadrolar, so'ngra yengil yadrolar orasida, keyin og'ir yadrolar ishtirokida sodir bo'ladigan termoyadro reaksiyalaridir. Bu termoyadro reaksiyalari sodir bo'lganda ajralib chiqadigan energiya orqali yulduzlardan va bizning Quyoshimizdan ajralib chiqadigan energiya oqimini tushuntirish mumkin. Birinchi bo'lib, X. Beta va K. Veytszeker bunday termoyadro reaksiyalarining ikki xil yo'lini ko'rsatdi: 1). 4 ta vodorod yadrosidan geliy yadrosi hosil bo'lishi. Bunday reaksiyalar vaqtida hosil bo'lgan energiya yulduzlarning nur tarqatib turishini ta'minlashi mumkinligini



ko'rsatib beradi [3]. Bu jarayon PP sikl deyiladi. 2). Uglerod – azot – kislorod sikl *CNO* deyilib, bu jarayonda uglerod, azot, kislorod katalizator sifatida ishtirok etadi.

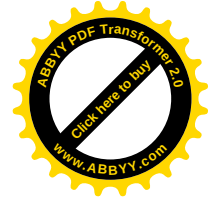
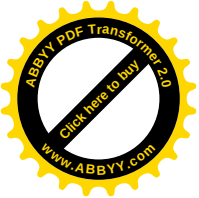
CNO – siklning boshlanishi yulduzda mavjud bo'lgan uglerod yadrosi bilan vodorod yadrosi orasidagi yadro reaksiyasi bilan boshlanadi.



Bu reaksiya natijasida 1.94 MeV energiya ajralib chiqadi, reaksiya natijasida hosil bo'lgan ^{13}N radiaktiv izotopi β^+ yemirilish natijasida ^{13}C – uglerod izotopiga aylanadi. Ushbu izotop 2 ta protonni o'ziga biriktirib ^{14}N va ^{15}O ni hosil qiladi. Albatta bu reaksiya sodir bo'lgan jarayonda ham energiyalar ajralib chiqadi. Radiaktiv yadro ^{15}O β^+ - yemirilish natijasida ^{15}N – azot izotopiga aylanadi. Azotning bu izotopi protonni o'ziga biriktirib oladi; $^{15}\text{N} + \text{P} \rightarrow ^{12}\text{C} + ^4\text{He}$. Ushbu reaksiya natijasida $4,97 \text{ MeV}$ energiya ajralib chiqaradi [4]. Bu reaksiya *CNO* – siklning oxirgi bosqichi hisoblanadi.

Yulduzlarda temperatura yanada ko'tarilishi natijasida sirtqi qoplam, markaziy qatlamni yanada kuchliroq siqilishi uglerod va kislorodning yonishi natijasida magniy, fosfor, oltingugurt kabi davriy sistemaning o'rta qismidagi elementlar hosil bo'ladi [1]. Temperatura 4 milliard K etganda termoyadro reaksiyalarning oxirgi bosqichida barqaror yadroga ega bo'lgan temir guruhiga kirivchi elementlar; temir, nikel, kobolt elementlari hosil bo'ladi.

Xulosa qilib aytganda yulduzlar energiya manbalarining asosiysi termoyadro reaksiyalari ekanligini hozirgi zamon astrofizikasi asosidan mustaxkam o'rin oldi. Termoyadro reaksiyalari yordamida nostasionar yulduzlar energetikasini tushuntirishda ham foydalanilmoqda. Shuni takidlash lozimki yulduzlarda bo'ladigan termoyadro reaksiyalar tabiatini to'laroq o'rganish uni yer sharoitida hosil qilish yo'llarini izlash kelajak avlodni energiya bilan ta'minlash yo'lini ochib beradi [3-7]



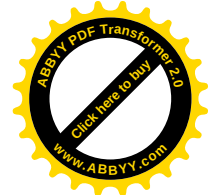
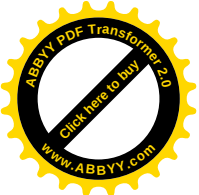
XULOSA

Massasi $25 M_{\odot}$ ($M_{\odot}$ – Quyosh massasi) ga teng va undan katta bo'lgan yulduzlarning tarkibi birjinsli bo'lmaydi uning yadrosida temir elementi ko'proq bo'ladi. Yulduz markazini qisilishi, temirning γ – kvantlar ta'siridagi bo'linish jarayonida o'ta yangi portlashiga sodir bo'ladi.

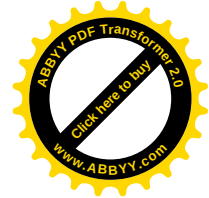
Oxirgi bosqichda temirli yadrodan foto bo'linish reaksiyalari natijasida vodorod, neytron, protonlar hosil bo'ladi.

O'ta yangi yulduzlarning yorqinlik egri chizig'ining asosiy xususiyatlari $^{56}\text{Ni} \rightarrow ^{56}\text{Co} \rightarrow ^{56}\text{Fe}$ ushbu reaksiya natijasi bilan belgilanadi, ya'ni o'ta yangi I-tipdagi yulduzlar evolyutsiyasining sodir bo'linishida ushbu reaksiya muhim rol o'ynaydi. Kuchli gamma nurlanish bilan sodir bo'luvchi bunday reaksiyalar zanjiri o'ta yangi yulduz yorqinligini ta'minlaydi.

O'ta yangi yulduzning chaqnashi paytida uning qa'rida sodir bo'luvchi tez jarayon (~ 100 sekund vaqt davomida $r = \text{jarayon}$) atom yadrolari tomonidan neytronlarni ushlab qolishi natijasida yadrosi massalar soni $A=270$ gacha bo'lgan kimyoviy elementlar yadrolarini hosil qiladi. Yulduzlar rivojlanishining oxirgi bosqichida $M > 1,5 M_{\odot}$ massali yulduzlar yadrolari tomonidan neytronlarni ushlab qolish jarayoni natijasida og'ir yadro (^{209}Bi) gacha bo'lgan kimyoviy elementlar yadrolari hosil bo'ladi. Bular erkin neytronlar manbai bo'lib, $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C} \rightarrow ^{23}\text{Mg} + n$, $^{16}\text{O} + ^{16}\text{O} \rightarrow ^{31}\text{Si} + n$ ushbu reaksiyalar sodir bo'ladi. Yulduzlar o'zlarining evolyutsiya jarayoni davomida massasiga bog'liq ravishda yulduzlarning asosiy ketma – ketligida joylashib, hayotining oxirigacha qizil, o'ta gigantlardan tortib oq karlikgacha yoki qora tuynukgacha bo'lgan jarayonni o'taydi. Yulduzlar energiya manbalarining asosiysi termoyadro reaksiyalari ekanligini hozirgi zamon astrofizikasi asosidan mustaxkam o'rin oldi. Termoyadro reaksiyalari yordamida nostasionar yulduzlar energetikasini tushuntirishda ham foydalanilmoqda. Shuni takidlash lozimki yulduzlarda bo'ladigan termoyadro

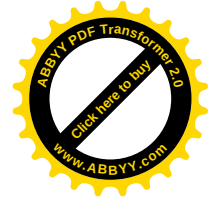


reaksiyalar tabiatini to'laroq o'rganish uni yer sharoitida hosil qilish yo'llarini izlash kelajak avlodni energiya bilan ta'minlash yo'lini ochib beradi.



FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. I. Sattorov “Astrofizika”, I – qism. Toshkent. 2007 yil.
2. I. Sattorov “Astrofizika”, II – qism. Toshkent. 2007 yil
3. Ya. B. Zeldovich, B. I Novikov I. D. Novikov. Stroyeniye i evolyutsiya vselenno -. M: Nauka. 1987.
4. B. S. Ishxanov i dr. “Nukleosintez vo vselennoy” M: iz-vo MGU, 1988
5. Yadernaya astrofizika. Pod redaksiyey Ch. Barnsa, D. Kleytona, D. Shramma. - M, Mir, 1986.
6. Ya. M. Kramarovskiy, V. P. Chexov. Sintez elementov vo vselenoy - M, Nauka. 1987.
7. S.Vaynberg. perviy tri minuti M: Energo izdat.
8. D. Silk. Bolshoy Vzriv-M: Mir, 1982.
9. Ya. M. Kramarovskiy, V. P. Chexov, “Radioaktivnost i evolyutsiya vselennoy”-m: Nauka, 1978.
10. A. Aller atomi, zvyozdi i tumannosti, - M: Mir, 1976.
11. R. Teylor. Stroyeniye I evolyutsiya zvyozd-M: Mir, 1975.
12. R. Teylor, Proisxojdeniya ximicheskix elementov-M: Mir, 1978.
13. B. S. Ishxanov, I. M. Kopitonov, Yadernaya fizika. Proisxojdeniya elementov – Iz - vo MGU, 1989.
14. I. D. Novikov. Kak vzorvalas vseennaya. – M: nauka. 1988.
15. Dj. Dj. Narlikar. Ot chyornix oblakov k chyornim Diram. M: energo atom izdat. 1989.
16. I.D.Novikov “Kak vzorvalis vseennaya”, M.: Nauka, 1988
17. G.S. Bisnovatiy – Kogan “Evolutsiya zvyozd”. Fizicheskaya ensiklopediya, T.5, S.487 – 494. M.: Nauchnoye izdatelstvo “Bolshaya rossiyskaya ensiklopediya”, 1988 y.
18. M. M. Mamadazimov “Astronomiya”. Kasb-hunar kollejlari va akademik litseylar uchun o’quv qo’llanma. Toshkent, 2000 y.



19. .G. Mursalimova “Umumiy astronomiya”. Toshkent, 2001
20. B. U. Luchkov (Sorosovekiy obrozovatelniy jurnal) tom 7 №5 2001 yil
80 – 85 bet
21. Ya. M. Kramarovskiy, V. P. Chegef Yadernaya stabilnost vo Vselennoy
// Znaniye M, 1976 (Ser “fizika”№ 10)
22. H. J. Takiboyev “Evalyusiya Vselennoy i proisxojdeniye ximichiskix
elementov” – Almati, Kaz. NPU, 2005 yil
23. B. S. Ishxanov, I. M. Kapitonov, U. A. Tutin “Nukleosintez vo
Vselennoy” M Izd. MGU 1998. Yil
- 24 <http://www.astronet.ru/db/msg/1190817> 2012
25. S.N. Nuriddinov Umumiy astronomiya kursi,-T,O'zMU, 2000