

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

ALISHER NAVOIY NOMIDAGI SAMARQAND

DAVLAT UNIVERSITETI

FIZIKA FAKULTETI

ASTRONOMIYA YO'NALISHI

ASTROFIZIKA KAFEDRASI

Yulduzlarda bo'ladigan fizik jarayonlar

Malakaviy bitiruv ishi

Bajaruvchi: Xalilov Bobojon

Ilmiy rahbar: Dots. Zoxidov Umir

Malakaviy bitiruv ishi Astrofizika kafedrasida bajarildi. Kafedraning 2012 yil
_____iyundagi majlisida muhokama qilindi va himoyaga tavsiya etildi
(bayonnoma № ____).

Kafedra mudiri:

dots: T. A. Alimov

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

YaDAK raisi:

A'zolari:

Samarqand – 2012

MUNDARIJA

Kirish.	3
1. § Yulduzlararo muxit haqida umumiy ma'lumot.	5
2. §. Yulduzlar spektrining spektral sinflanishi.	23
3. § Yulduzlarning ichki tuzilishi.	29
4. § O'ta yangi yulduzlar, yulduzlar evolutsiyasining so'nggi bosqichi.	35
Xulosa.	45
Foydalanilgan adabiyotlar.	46

Kirish

Yulduzli osmonning ko'rinishi, ayniqsa oysiz tunda, shu qadar jozibador va tarovatliki, bamisoli bizni o'rab turgan olam o'zgarmas va cheksizdek tuyuladi. Biroq XX asrning boshida bunday tasavvurning xom xayol ekani ma'lum bo'ldi. Kuzatuv ma'lumotlari Koinotning kengayib borayotganini ko'rsatdi. Har biri Quyoshimizga o'xshagan yuz milliardlab yulduzlardan tashkil topgan yuz milliardlab galaktikalar juda katta tezlikda har tomonga shiddat bilan tarqaladi. Agar Koinot kengayishini vaqt bo'yicha orqaga ekstrapolyasiyalasak (orqaga aylantirsak), taxminan 13.7 milliard yil muqaddam butun Koinot no'l o'lchamli nuqtaga siqilganligi, uning zichligi esa cheksiz katta bo'lganligi anglashiladi. Xozirgi Koinot qachonlardir ro'y bergan Katta Portlash natijasida paydo bo'lgan va vaqt hisobi o'shandan boshlanadi.

Koinotning ilk laxzalari Amerikalik nazariyotchi fizik, 1979 – yildagi Nobel mukofoti sovrindori Stiven Vaynbergning «Dastlabki uch daqiqa» kitobida batafsil yoritilgan. Ajoyibligi shundaki, u Katta Portlashdan so'ng sekundma-sekund, aniqrog'i sekund ulushlari bo'yicha ro'y bergan hamma hodisalarni bayon etgan. Uning hikoyasi dastlabki sekundning yuzdan biridan, Koinot harorati takriban yuz milliard darajada bo'lgan ondan boshlanadi. Bunday haroratlarda oddiy moddaning tarkibiy qismlaridan birontasi – na molekulalar, na Yulduzlar ham bamisoli tirik mavjudotlardek tugiladi, ulg'ayadi va o'ladi. Yulduz hayoti uning evolyutsiyasi deyiladi.

Yulduz evolyutsiyasi qanday kechishi uning massasiga bog'liq. Nisbatan kichik massali yulduzlar evolyutsiyasi uzoq vaqt (masalan, Quyoshniki 9 milliard yil) davom etadi. Termoyadroviy energiya manbalari tugagach bunday yulduz kengayadi va qizil gigant yulduzga aylanadi. So'ng qobigining bir qismini yulduzlararo fazoga tashlab o'zi oq mitti yulduz shakliga aylanadi va yana millionlab yillar davomida soviguncha xiralashib boradi.

Massasi katta bo'lgan yulduzlar evolyutsiyasi ancha tezroq kechadi va ular ba'zan halokatli o'zgarishlarni boshidan kechiradi. Yulduz o'ta gigant fazasidan o'tadi va hatto portlashi ham mumkin. Bunday jarayon o'ta yangi yulduz chaqnashi deyiladi. Agarda yulduzning portlashdan keyingi massasi 1.4 – 2.0 Quyosh massasini tashkil etsa u neytron yulduzga aylanadi, bordi-yu uning massasi 2,0 Quyosh massasidan katta bo'sa, bunday yulduz qora o'raga aylanadi.

Dastlabki vaqtlarda atomlar hatto atomlar yadrolari mavjud bo'la olmaydi. Moddaning bari **glyuon**, lepton, neytrino va fotonlardan iborat turli tipdagi elementar zarralar deb atalmish aralashmadan tashkil topgan edi. Bundan tashqari,

o'sha onda elektronlar va massasi bo'yicha ularga aniq teng bo'lgan, ammo musbat zaryadlangan pozitronlar mo'l bo'lgan edi. Bu zarralar elektron, pozitron, neytron, fotonlar sof energiyadan uzluksiz tug'ilib va juda tez annigilyasiyalashgan (bir-birini o'zaro yo'qotishgan va energiyaga aylanishgan). Shuning uchun bu zarralarning soni oldindan belgilanmagan edi, u paydo bo'lishi va annigilyasiyalanish jarayonlari orasidagi muvozanat bilan aniqlanardi. Ushbu muvozanatdan yuzlab milliard gradusli haroratdagi bunday kosmik "kompot"ning zichligi suv zichligidan taqriban to'rt milliard xissa katta bo'lishini hisoblab chiqsa bo'ladi.

Koinotdagi modda sovuqlashgan sari hozirgi zamonda atom yadrolarini tashkil etuvchi qismlari bo'lmish proton va neytronlardan ancha og'ip zarralarning ozroq aralashmasi hosil bo'ladi. Bu zarralarning proporsiyasi har bir milliard elektron yoki pozitron yoki fotonga, taxminan, bitta proton va bitta neytronni tashkil etgan. Orada 0.11 sekund o'tgach Koinot harorati 30 milliard gradusgacha pasaygan. Lekin biron sifat o'zgarishi ro'y bermagan - Koinot tarkibi avvalgidek elektron, pozitron, neytrino, antineytrino va fotonlardan iborat bo'lgan. Yana 12.82 sekunddan keyin Koinot harorati 3 milliard gradusni tashkil etgan. Bu elektronlar va pozitronlar uchun chegaraviy haroratdan past bo'lib, ular jadal yo'qola boshlab (annigilyasiyalanib), Koinot moddasining asosiy tarkibiy qismi xususiyatini yo'qotdi. Bunday haroratlarda endi turli barqaror yadrolar hosil bo'lishi mumkin edi, masalan geliy yadrolari.

Koinot tug'ilishidan taqriban uch daqiqa o'tgach yadro sintezining birlamchi jarayonlari to'xtadi. Shu paytda Koinot moddasi erkin protonlar (vodorod yadrolari) va geliy yadrolaridan tashkil topgan edi va geliyning massa bo'yicha ulushi 22 - 28 foizni tashkil etdi. Har bir erkin yoki bog'langan protonga bitta Xabbl teleskopi yordamida olingan eng manzarali tasvirlardan biridir. Unda o'lchami 50 yorug'lik yilini tashkil etuvchi Kil tumanligining markaziy qismi aks ettirilgan. Bugungi kunda bu tumanlikda yulduzlar tug'ilishi jarayoni faol kechmoqda. Qachonlardir, bundan 4,6 milliard yil avval, shunga o'xshash gaz-chang tumanligida bizning Quyosh va sayyoralar paydo bo'lgan elektron to'g'ri kelgan, ammo Koinot haligacha issiq bo'lgani uchun barqaror atomlar vujudga kela olmas edi.

1.§. Yulduzlararo muxit haqida umumiy ma'lumot

Inson bo'lmagan paytda ham yulduzlar osmonda porlab turgan. Shuni aytish kerakki nafaqat insonlar balki hayvonlar ham o'zining boshlang'ich astronomik ma'lumotlariga ega. Lekin fanning ming yullik rivoji davomida insoniyat oddiy lekin shu bilan birga ulkan ma'lumotlarni, Yulduzlar – bu ko'proq yoki kamroq Quyoshga o'xshash ob'ektlar ular uzoq masofalarda joylashgan. Yulduzlarga 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. Lakin 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. Buning isboti spektral analiz yordamida amalga oshirilgan. Gartmon spektral chiziqlarning to'lqin uzunliklari davriy ravishda unchalik katta bo'lmagan kattalikka goh bir tamonga, goh ikkinchi tamonga o'zgaradigan ikkilangan yulduzlar spektrini tadqiq etdi. Bunday o'zgarishlar davri aniq bir yulduzning ikkinchi yulduz atrofida aylanish davriga teng.

Spektral chiziqlar to'lqin uzunliklarining bunday davriy o'zgarishlariga sabab fizika laboratoriyasidan yaxshi ma'lum bo'lgan Dopler effekti hisoblanadi. Nurlanish manbai kuzatuvchiga nisbatan v tezlik bilan harakat qilsa chiziqlarning to'lqin uzunligi $\lambda \cdot \frac{v}{c}$ miqdorga teng bo'ladi, bu erda c – yorug'likning vakumdagi tezligi, agar manba kuzatuvchidan yorug'lik tezligiga teng tezlik bilan uzoqlashsa to'lqin uzunligi $\lambda \cdot \frac{v}{c}$ miqdorda kattalashadi. Bu vaqtda yulduz ravshanligi o'zgaribdi, chunki o'z orbitasi bo'ycha davriy harakat qilayotgan yulduz goh bizga yaqinlashadi, goh uzoqlashadi, bu hodisa spektr chiziqlarining 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 spekt 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 Dopler tadqiqotiga ko'ra yutilish chiziqlari to'liq 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 Å ga geliyda yana ham qisqa –566 Å ga teng. Shu bilan birga yutilish chiziqlari 2900Å 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 Å) va boshqa yulduzlararo atomlar rezonans chiziqlari qayd qilindi. Chalkashlik ro'y bermasligi uchun vodorod, geliy, kislorod, va boshqa elementlar spektral chiziqlari anchadan buyon yulduz va Quyosh spektrlarida kuzatiladi. Lekin bu holda rezonans chiziqlari emas balki sathlardan utishda spectral chiziqlar kuzatiladi. Lekin qizigan zich qo'zg'algan yulduz atmosferalarida yulduzlararo muhitda fizik sharoitlar umuman turlicha.

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.

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 atommi 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.

2. §. Yulduzlar spektrining spektral sinflanishi

Spektral sinflashtirish. Ko'plab statsionar yulduzlar spektrini laboratoriyada topilgan nur manba'i spektri bilan solishtirib, tahlil qilib, ulardagi chiziqlar to'lqin uzunligi va intensivligi har xil ekanligiga ishonch hosil qilib mumkin. Chiziqlarining intensivligiga ko'ra yulduzlarni ma'lum ketma-ketlikda joylashtirish yoki spektral sinflarga ajratish mumkin. Bunday ish birinchi marta AQSH ning Garvard universitetida vodorod (H_{α} , H_{β} , H_{γ} , H_{δ}) va geliy { C λ 5875 Å, 6678 Å}, keyin metal ionlari (H va K, Ca II) va atomlari (D_1 D_2 , Na), molekulalar chiziqlariga nisbatan bajarilgan va u garvard spektral sinflashtirish deb ataladi. 1918—1924 yillarda e'lon qilingan va Genri Dreper (HD) katalogi deb ataladigan 9 tomlik jadvalda 225330 yulduzning spektral sinfi belgilangan. Hozirgi kunga kelib jami 500000 dan ortiq yulduzning spektral sinfi aniqlangan. Spektral sinflar lotin alifbosining bosh harflari bilan belgilanadi: O, B, A, F, G, K, M, (L, T). Bu harflar ketma-ketligini eslab qolish uchun garvard universiteti talabalari shunday hazil o'ylab topishgan: Oh, Be, A Fine Girl Kiss Me.

O — sinfga mansub yulduzlar spektrida geliy ioni (He II), yuqori darajada ionlangan azot (N III λ 4514 Å, N IV λ 3479 Å), uglerod (C III λ 4647 Å) va kislorod (O III λ 3700 Å, O IV λ 3385 Å) chiziqlari ko'rinadi.

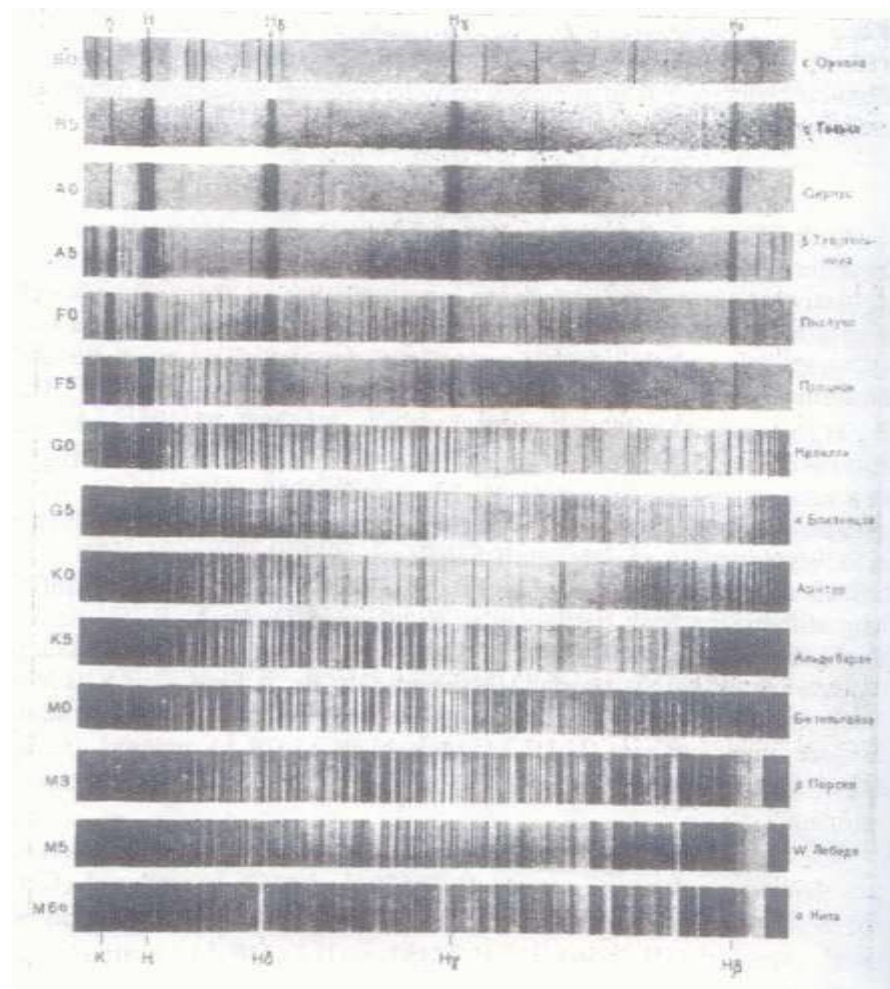
B — sinfga mansub yulduzlar spektrida neytral geliy (He I λ 5875 Å) va past darajada ionlangan azot (N II λ 6578 Å, λ 4267 Å), uglerod (C II λ 6578 Å, 4267 Å), kislorod (O II λ 4649 Å, λ 4119 Å) va vodorod atomi chiziqlari (H_{α} λ 6563 Å, H_{β} λ 4861 Å, H_{γ} λ 4340 Å) kuzatiladi.

A-sinfga mansub vodorod atomi chiziqlari (H_{α} λ 6563 Å, H_{β} λ 4861 Å, H_{γ} λ 4330 Å) eng intensiv ko'rinadi. Sumbulaning α -si spektrida vodorod atomi chiziqlari H_{α} , H_{β} , H_{γ} , H_{δ} va hakozi eng intensiv, geliy chiziqlari ko'rinmaydi.

F da intensiv vodorod atomi chiziqlari H_{α} , H_{β} . . bilan birgalikda metall ionlari (Ca II λ 3934 Å, 3968 Å) chiziqlari ko'rinadi. Bunda Procion (α CM), Sirius (α CM), misol bo'laoladi.

G da asosiy chiziqlari metallar (Na, Mg, Fe, Ca)niki, vodorod chiziqlari ham ko'rinadi, biroq ancha xiralashgan. Quyosh G-sinfga mansub.

K da kalsiy ioni (Ca II) chiziqlari va metallar chiziqlari (G tasma λ 4305 Å dan λ 4315 Å gacha) yaqqol ko'rinadi, molekulalar (TiO) chiziqlari va tasmalari ko'rinish boshlaydi. Bunga Aldebaran (Savrning α -si, α Tau) misol bo'laoladi.



1 - rasm. Har xil spektral sinfga mansub yulduzlar spektridan namunalalar.

M da molekular (TiO , C_2 , CN) tasmalari va chiziqlari orasida TiO tasmalari ajralib turadi. Bunga Betelgeyze (Orionning α -si, α Ori) misol bo'laoladi.

L — sinfga mansub yulduzlar spektrida ishqor metallar (Li, Na, K, Cs) chiziqlari kuzatiladi.

T — sinfga kiradigan yulduzlar spektrida metan (NH_4) va ishqor metallar chiziqlari ko'rinadi.

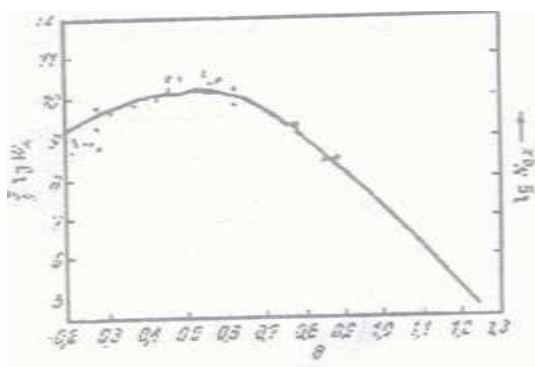
Oxirgi ikkita sinf (L , T) yaqinda (2000 y.) kashf etildi. G dan boshlanadigan S - sinf spektrida uglerod (C_2 , CN) molekullari chiziqlari yqqol ajralib turgani uchun bunday yulduzlar uglerodli deb ataladi. Shu-

dek K-sinf yonida joylashgan S-sinf spektrida sirkoniy, ittiriy va lantan gidrlari chiziqlari ko'rinadi.

I Yulduzlarning fizik ko'rsatgichlarini yana ham aniqroq belgilash maqsadida spektral sinflar ketma-ketligi kengaytiriladi, asosiy sinflar orasi o'nta oraliq sinfga ajratiladi: 05, 06, 07, 08, 09, B0, B1, B2, .. , B8, B9, A0, A1 .. A8, A9, F0, ... va hakoza.

Garvard spektral sinflashtirishning fizik asoslari. Spektral sinflardagi chiziqlar turli-tumanligi yulduzlarning kimyoviy tarkibi har xil ekan degan xulosaga olib kelmasligi kerak. Chunki chiziqning hosil bo'lish yoki bo'lmasligi, birinchi navbatda, yulduz atmosferasining temperaturasiga bog'liq. Yulduz

spektrida u yoki bu atom chiziqlari ko'rinishining zarur sharti yulduz atmosferasida shu element atomlari mavjudligi bo'lsa, yetarli sharti atmosferada temperatura sharoiti atomlarni uyg'ongan holatga o'tkazish uchun etarli bo'lishi kerak. Demak, spektral ketma-ketlik asosida temperaturalar har xilligi yotadi. Atomlarni uyg'ongan holatlar bo'yicha taqsimlanishi Bolsman va Saxa formulalari bilan ifodalanadi. Har bir kimyoviy elementning ko'pchilik atomlari ma'lum temperaturada (T_u) uyg'on holatlarga o'tadi. Agar $T > T_u$ bo'lsa, atomlar ionlanadi va bu esa chiziqni hosil qilishda ishtirok etayotgan atomlar sonini kamayishiga olib keladi. $T < T_u$ bo'lsa, bu holda ham shu chiziqni hosil qilishda ishtirok etadigan atomlar soni kam bo'ladi. Vodorodning ko'pchilik atomlarini uyg'ongan holatlarga (uyg'onish potentsiali $\chi = 10$ eV) o'tkazish uchun $T_u = 10^4$ K bo'lishi kerak. Bunday sharoit A sinfga mansub yulduzlarda mavjud. Agar temperatura $T > 10^4$ (B sinf) yoki $T < 10^4$ (F sinf) bo'lsa, vodorod chiziqlari H_α , H_β , H_γ , H_δ intensivligi $T=10^4$ (A-sinf) dagiga qaraganda kam bo'ladi, bunday farq temperatura ayirmasi $[T-T_u]$ ortgan sari kuchayib boraveradi va u ma'lum darajaga ($5\ 000^\circ$) yetgach vodorod chiziqlari umuman ko'rinmaydi. 2 - rasmda vodorod H_γ chizig'ining ekvivalent kengligi (W_λ) ning temperature ko'rsatgichi ($\theta = \frac{5040}{T}$) bo'yicha o'zgarishi tasvirlangan.



2 – rasm. Vodorod atomi spektral chizig'i H_γ ning ekvivalent kengligi (W_γ) ning temperature ko'rsatgichi bo'yicha o'zgarishi tasvirlangan.

Geliy atomlarining uyg'onish potentsiali $\chi > 20$ eV, ya'ni vodorodnikidan ikki marta katta, demak geliy atomi chiziqlari hosil bo'lishi uchun $T \approx 20\ 000$ bo'lishi kerak. Bunday sharoit B sinfga mansub yulduzlarda mavjud. A — sinf yulduzlarida temperatura geliy atomlarini uyg'ongan holatlarga o'tkazish uchun etarli boimagan uchun ularida geliy chiziqlari kuchsiz. K M — sinf yulduzlarida temperatura ancha past ($4500-3500$ K) va molekula_{ar} hosil bo'lishi uchun sharoit yetarli.

Shunday qilib, har bir kimyoviy element atomlari chiziqlari ta'lim temperaturadagi (sinfdagi) yulduzlarda maksimal intensivlikka ega bo'ladi. Bu sinfdan chap yoki o'ng tomonda joylashgan sinflarda intensivlik karnaya boradi. Spektral sinflar chiziqlarning intensivligi bo'yicha belgilanadi. Temperaturani aniqlash uchun oraliq sinflar kiritilgan. A bilan B orasi o'nta oraliq sinfga bo'lingan.

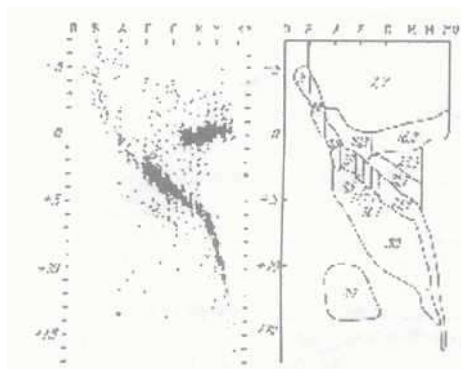
Agar yulduzning spektri olingan bo'lsa, uning spektral sinfi va temperaturasi (T) ni aniqlash mumkin. Bunday yo'l bilan aniqlangan T tutash spektrda

energiyaning taqsimlanishi yoki rang ko'rsatkichi (B-V) bo'yicha aniqlangan temperaturaga mos kelishi isbotlangan. Shuning uchun spektral sinflar o'rnida T_e yoki B-V qo'llaniladi. bosh ketma-ketlik spektral sinf, T_e , va B-V keltirilgan.

1 – jadval

	05	VO	AO	F0	GO	K0	MO	L	T
T_e	40 000	28 000	9900	7400	6030	4900	3480	1700	1300
B-V	- 0.33	- 0.31	0.00	0.27	0.57	0.89	1.45	(3)	(5)

Gersshprung-Ressel diagrammasi. XX asr boshlarigacha bir necha yuz yulduzning uzoqligi (yillik parallaksi) o'lchangan va absolut kattaligi (M) hisoblab topilgan, spektral sinflari ham aniqlangan. 1905—1913-yillarda daniyalik E. Gersshprung (1873-1967) va amerikalik G.N. Ressel (1877-1957) bir-biridan mustaqil yulduzlar diagrammasini tuzishgan. Ular ordinata o'qi bo'ylab yulduzlarning absolut kattaliklarini, absissa o'qi bo'ylab esa spektral sinflarini qo'yishgan. Diagrammada har bir yulduz bitta nuqta sifatida o'rin egallagan. "Gersshprung-Ressel diagramma" si (G-R) nomi bilan fanga kirgan, bu diagramma 3 – rasmda tasvirlangan.



3 – rasm. Gersshprung – ressel diagrammasi va ayrim yulduzlar guruhlarining fazoviy xarakteristikalar (o'ng tamonda, sonlar, tezlik, km/s)

Diagrammada yulduzlar ma'lum tartibda joylashgan. Ko'pchilik (90%) yulduz diagrammaning yuqori chap tomonidan boshlanib uning o'ng past tomoniga cho'zilgan ingichka sohasida joylashgan. Bu yulduzlar bosh ketma-ketligi deyiladi. Diagrammani o'rtasidan biroz chaproq va yuqoriroqda bir to'da yulduzlar o'rin egallagan. Ular gigant yulduzlar deb atalib, bosh ketma-ketlikdagi shunday spektral sinfdagi karlik (xira) yulduzlardan yuzlab marta yorqin chunkin radiusi o'nlab marta katta. (Diagrammaning yuqori qismidan yana fiam katta (10^4 marta) yorqinlikka ega yulduzlar o'rin olgan). Ular o'ta gigant yulduzlar deb atalib, kamchilikni tashkil etadi.

Diagrammaning pastki chap yarim qismida qaynoq, biroq shunday tem-nerturadagi bosh ketma-ketlik yulduzlaridan yuz minglab marta kam yorqinlikka ega yulduzlar joylashgan. Bu yulduzlar bosh ketma-ketlik yulduzlaridan o'nlab marta kichik bo'lganligi uchun oq karliklar deb ataladi.

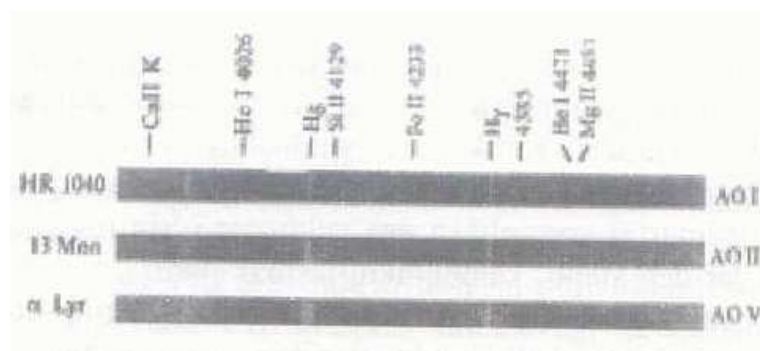
Karlik yulduzlar spektral sinfi oldiga kichik d (dwarf), subkarliklarga — sd, gigantlarga — g, o'ta gigantlarga — sg yoki s harf qo'yib belgilangan. Masalan, sA yoki sg A-A sinfga mansub o'tagigant, gG — G sinfga kiruvchi gigant, sdM — M sinfga kiruvchi sub karlik, dG — G sinfga kiruvchi bosh ketma-ketlik yulduzi va wA — A sinfga kiruvchi oq karlik. Bunday ajratishda spektral chiziqlarning kengligi va intensivligi asos qilib olingan. Bu belgilar oldin nashr qilingan jadvallar va kitoblarda uchraydi. Hozir qo'llanilmaydi. Ular o'rnida rim raqamlari I, II, III, IV, V, VI, VII bilan ifodalanadigan yorqinlik sinflari qo'llaniladi.

Gigant va karlik yulduzlar spektrlari farqi. Spektri parallaks. Bitta spektral sinf (masalan, GO) va har xil yorqinlik sinflari (I, II, III, IV, V, VI) ga mansub yulduzlar spektrini tekshirishlar shuni ko'rsatadiki, ayrim chiziqlar, masalan, kalsiy atomi (Ca I λ .4226 Å) va ioni (Ca II λ 3950 Å), stronsiy atomi (Sr I λ .4607 Å) ioni (Sr II λ 4077 Å) chiziqlari, intensivligi gigant yulduzlardan karliklar tomon har xil o'zgaradi.

Gigantlar spektrida Ca II va Sr II chiziqlari bosh ketma-ketlik yulduzlariga qaraganda ancha intensiv va Ca I va Sr I chiziqlari esa, aksincha, bosh ketma-ketlik yulduzlari spektrida gigantlarnikidagiga qaraganda kuchli. Buning sababi gigant yulduzlar atmosferasida elektron konsentratsiyasi (Ne) bosh ketma-ketlik yulduzlardagidan kam. Saxa formulasiga asosan uyg'ongan holatdagi ionlar konsentratsiyasi (N^+) elektron konsentratsiyaga (Ne) teskari proporsional. Demak, elektron konsentratsiyasi kam bo'lsa, ionlar soni ko'p, chiziq intensiv bo'ladi. Ma'lumki, chiziqning intensivligi uni hosil qiladigan atom (ion)lar konsentratsiyasiga proporsional bo'ladi. Shuning uchun gigant yulduzlarda ion chiziqlari karliklardagiga qaraganda intensivdir.

G va K sinf yulduzlarining u yoki bu yorqinlik sinflariga mansubligini ko'rsatuvchi belgi temir atomi chizig'i Fe I λ 063 Å intensivligini stronsiy ioni chizig'i Sr II λ .4607 Å intensivligiga nisbati bo'la oladi. Karlik yulduzlardan gigantlar tomon o'tgan sari birinchi chiziqning intensivligi Pasayadi ikkinchisiningi esa, aksincha, kuchayadi. Bu chiziqlar intensivligi nisbati (1(4063)/I (4077)) absolut yulduziy kattalik (M) ning ortishi bilan o'rtadi. Demak, bu nisbat M ni aniqlashda qo'llash mumkin.

Yulduz atmosferasining zichligi chiziqlar intensivligini o'zgartirish bilan birgalikda ularning kengligini ham o'zgartiradi. Zichligi yuqori yulduz (karlik)



4 – rasm. AO sinfga mansub har xil yorug'lik (o'ta gigant, gigant va bosh ketma-ketlikdagi) sinflariga mansub yulduzlar spektrida yodirod chizig'larining kengayishi va intensivligi.

lar chiziqlari zichligi past yulduz (gigant) lar chiziqlariga qaraganda ancha keng bo'ladi (4 – rasmga qarang). Yuqori zichlikdagi atmosferada atomlar va ionlar orasidagi masofa kichik bo'lib, ularning energetik sathlarini (shuningdek, chiziqlarni) kengayishiga sababchi bo'ladi. Siyrak atmosferada bunday effekt kuchsiz chiziqlar ingichka (qanotsiz) bo'ladi.

Yulduzning yorqinlik sinfi absolut yulduz kattaligini aniqlashga imkon beradi. Shunday qilib, spektrdagi ayrim chiziqlarni tekshirish yo'li bilan yulduzning yorqinlik sinfini va absolut yulduziy kattaligini (M) aniqlash mumkin. Agar ko'rinma yulduziy kattalik o'lchangan va spektrga ko'ra M aniqlangan bo'lsa, yulduzning paralaksini $\pi = 10^{-0.2(M-m-5)}$ formula yordamida hisoblash mumkin. Bunday yo'l bilan aniqlangan π -spektral parallaks deb ataladi. Yillik parallaks usulini qo'llash mumkin bo'lmagan ko'p minglab yulduzlarning uzoqligi $r = \frac{1}{\pi}$ ana shunday usul bilan aniqlangan.

Yulduzlarning aylanishi va magnit maydoni. Quyosh o'z o'qi atrofida aylanadi va uning aylanish tezligi ekvatorida 2 km/s. Quyoshning umumiy magnit maydon kuchlanganligi 0.5 gs ga teng va u o'zgaruvchan (22 yillik sikl) dir. Quyoshning magnit maydoni differensial aylanishi natijasida tiklanib turadi. Yulduzlar ham o'z o'qi atrofida aylanishi va bu aylanish tezligiga mos ravishda ma'lum kuchlanganlikka ega o'zgaruvchan magnit maydon hosil qilib turishi kerak. Agar yulduz o'z o'qi atrofida aylanayotgan bo'lib, uning bir cheti bizga tomon harakat qilsa, qarama-qarishisi bizdan uzoqlashadigan harakat qiladi. Demak, yulduzning butun gardishi bo'yicha yig'indi nurlanish spektrida chiziqlar Doppler effekti tufayli kengaygan bo'ladi. Shuning uchun bir xil sinfga mansub ikkita yulduz chiziqlari farqi ularning o'q atrofida aylanishi va magnit maydoni bilan bog'liq bo'lishi mumkin. Haqiqatan, chiziqlar profilini o'rganish shuni ko'rsatdiki, 05 — FO sinfga mansub bosh ketma-ketlik yulduzlari o'q atrofida aylanishi ekvatorida 300—400 km/s ga yetishi mumkin. F5— M sinfga mansub yulduzlarniki 10 km/s dan oshmaydi. O'ta gigant va gigant O — F yulduzlar bosh ketma-ketlik yulduzlariga nisbatan sekin aylansa, G — M yulduzlar tez (100 km/s gacha) aylanadi.

Magnit maydon kuchlanganligi $H > 200$ gs bo'lgan yulduzlarni hozirgi zamon usullanda o'lchash mumkin. Yuzdan ortiq yulduz magnit maydonga ega ekanligi aniqlagan.

3.§. Yulduzlarning ichki tuzilishi

Yulduzlar - ulkan gaz sharlari bo'lib, o'z yorug'ligini 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, Quyoshga kometa va asteroidlarning tushishi va hokazo o'ta ekzotik mexanizmlar taklif kilingan edi. XIX asr oxirida sikilish jarayonidagi gravitasion energiya erkin holatga o'tishi eng real mexanizm sifatida aralgan. Darvoke, Quyoshning yorituvchanligini saklab turish uchun uning radiusi yiliga 20 kilometrka kamayib borishi kifoya edi. Birok masalaning murakkabligi shunda ediki, gravitasion sikilish Quyoshning yorituvchanligini fakat 30 million yil davomida saklab tura olar edi. Bugungi kunda Quyoshning yoshi 4.6 milliard yilga tengligi bizga ma'lum. Ustiga-ustak geologik ma'lumotlardan aniklanishicha, Quyoshning 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, Quyosh va yulduzlarning milliard yillar mobaynida muttasil yorishib turishini ta'minlab beruvchi energiya manbai uning ka'rida 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'rida 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 mashxur formulasi $E = \Delta m c^2$ orkali boglik. Shunday kilib, turtta protonning kushilishi natijasida bitta geliy yadrosi xosil buladi va 0,000000000004 djoul energiya ajralib chikadi. Bu juda arzimast kattalik, ammo Kuyoshda har sekundda 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 Quyosh ichidagi protonlar zaxirasi yetarlidir. Quyosh yadrosining yukori haroratli kismida joylashgan umumiy massaning kariyb 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 uzokrok davom etadi. Masalan, Quyoshni olib ko'raylik. Yana 4.5 milliard yildan keyin uning yadrosidagi vodorod zaxirasi tugagach, energiya ajralishi tuxtaydi va u o'z gravitasiya 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'irroq elementlar yadrolari portlash tarzidagi jarayonlar vaqtidagina, 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'ldin

xam tarkalib, o'zi bilan olib ketayotgan gazni juda katta haroratgacha qizdirib yuboradi. Zarbaviy to'lkin 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 tadbikotlar 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 tadbik etish natijalarini hisobga olgan holda aniqlashtirilib, tafsilotlari o'rganilmokda.

Galaktikalar xamda yulduzlarning kimyoviy tarkibini o'rganish borasida yaqinda o'tkazilgan tadbqiqotlar 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 ogirroq 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!

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 uzok 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:

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

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

Bu tenglamalar quyidagi chegaraviy hollar uchun birgalikda yechiladi:

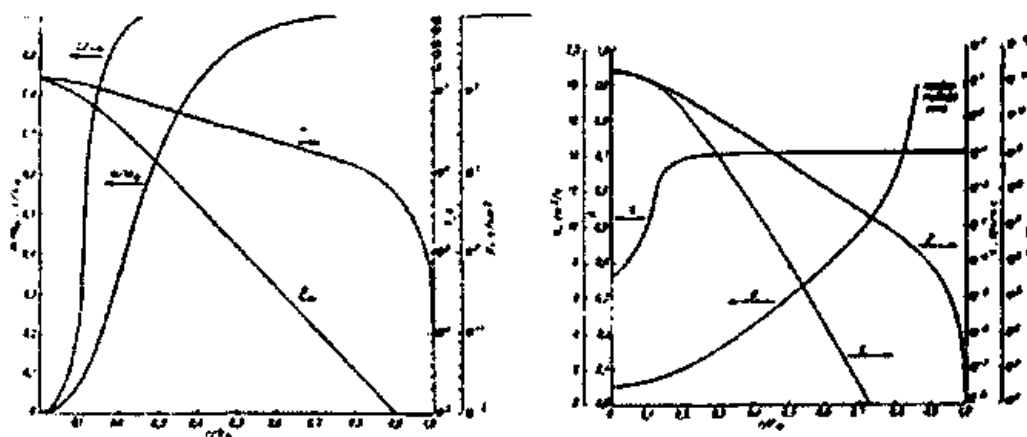
$r = 0$ bo'lganda, ya'ni Quyosh markazida $M_o = 0$, $L_o = 0$;

$r = R$ 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 $R = R_q = 696\,000\text{ km}$ va $L(R_q) = 3.96 \cdot 10^{26}\text{ Wt/s}$ 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 suratlar bilan ortaboshlaydi va $r \geq 0.86$ masofada



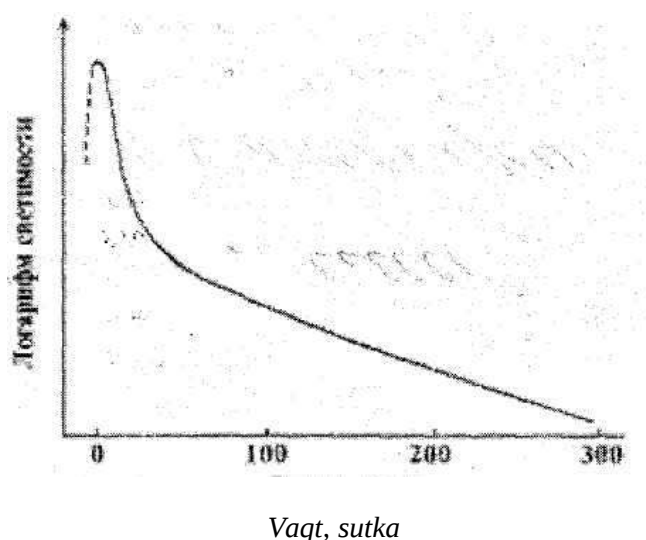
5-rasm. Quyoshning ichki tuzilishi modeli va berilgan ($X = 0.708$, $Y=0.272$, $Z=0.020$) kiyoviy tarkibda Quyosh moddasining fizik xususiyatlarining Quyoshning ichki qatlamlari tomon o'zgarib borish grafigi. Chapda temperatura (T), gaz bosimi (P), yorqinlik (L) va massa (M, Quyoshning toia massasi birliklarida) 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 suratlar bilan kamayishini ko'rsatadi.

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.

4. § O'ta yangi yulduzlar, yulduzlar evilusiyasining so'nggi bosqichi

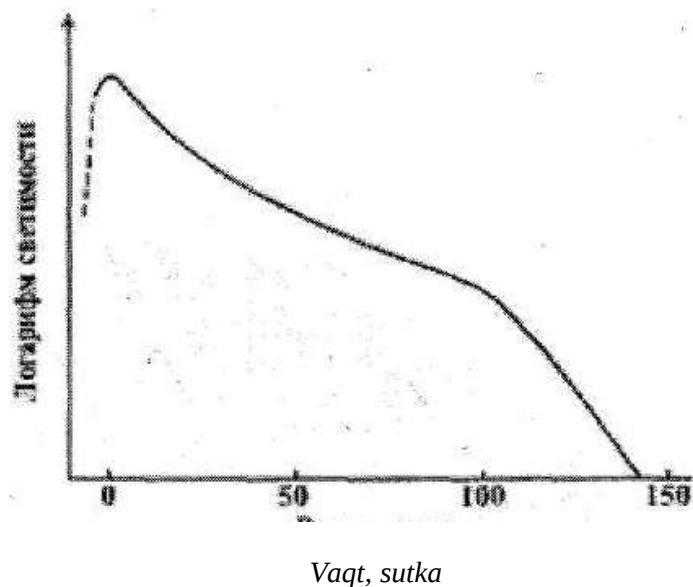
O'ta yangi yulduzlar – bu katta yulduzlar bo'lib ularning yorutuvchiligi ulkan kattalikkacha to'satdan kattalashadi, keyin sekin pasayadi. O'ta yangi yulduzlar yulduzlar evolitsiyasining barcha bohqichlaridan o'tadi. Yulduz kollaps jarayonida va ancha og'irlik qismini yo'qotishning hisobga olib, o'ta yangi yulduzning boshlang'ich og'irligi 8 -10 $M_{\odot}$ dan kam bo'lmasligi kerak. O'ta yangi yulduzlarning ikkita turi mavjud (6 – rasm)



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

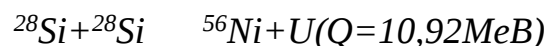
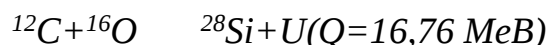
Yuqori yorutuvchanlikga ega o'ta yangi yulduz yorqinligining vaqt birligida bog'likligi keltirilgan. O'ta yangi yulduzlar portlashi natijasida ajralib chiquvchi energiya $10^{51} - 10^{54}$ erg .

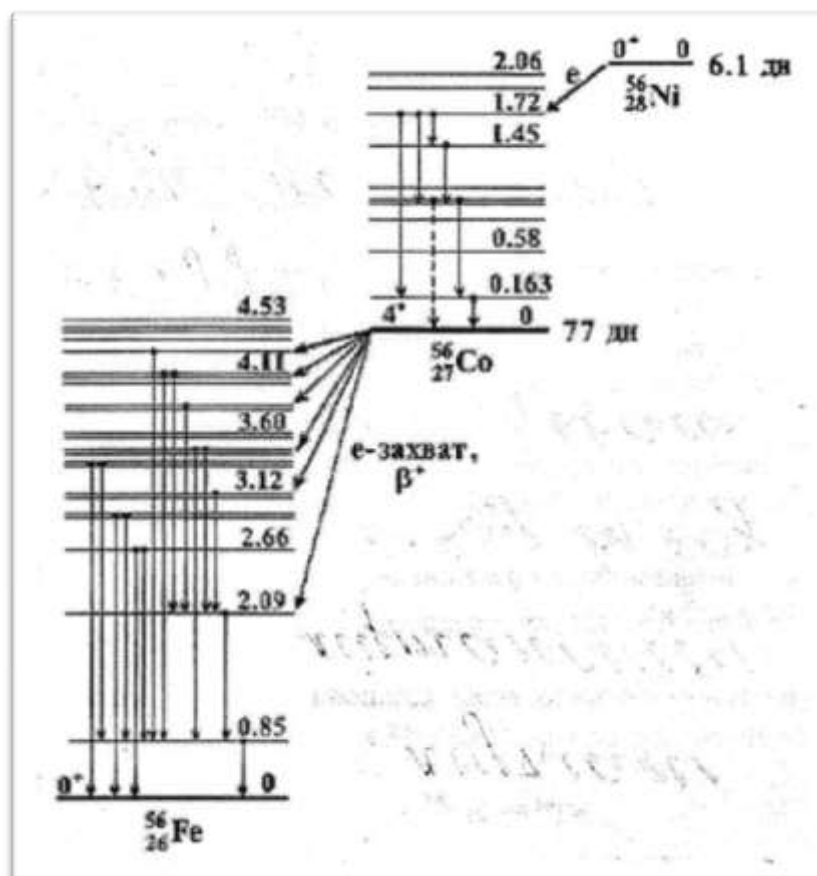
Qanday sharoitlarda yulduz o'ta yangi bo'lishi mumkin. Bu yangi bosqich katta yulduz evolutsiyada termoyadroli sintez reaksiyasi tugasa va yulduzning markazida temir guruhidagi yadrolar hosil bo'laganda paydo bo'ladi. Temir yadrolari hosil bo'lgandan keyin yulduz markasining yadrolsi qizishi to'xtaydi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



7 – rasm. Yangi I – tip yulduzlar yorqinlik egrisi

I – turdagi o'ta yangi yulduzlar I – turdagi o'ta yangi yulduzning yorutuvchanlik garafik 7 – rasmda ko'rsatilgan. 2 hafta ichida yorutuvchanlik maksimumga yetadi, keyin 2 hafta davomida tez pasayadi, keyin eksponentsiyal 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.





8 – 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. (8 – rasm). Keyingi ^{56}Co yadrosining hosil bo'lishiga 1,72 MeB 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 ~ 100 keV gacha kamayadi, fotoeffekt natijasida ular samarali yutiladi bu esa yulduz moddasining qizishiga olib keladi. Yulduzning kengayishiga qarab yulduzda modda zichligi pasayadi, fotonlar to'qnashuvi kamayadi nurlanishni yutgandan 30 sutkadan keyin fotonlarning yulduz moddasi bilan to'qnashish 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. Energiya 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 $^{56}\text{Ni} - ^{56}\text{Co} - \text{Fe}$ zanjirida yadroning hosil bo'lishi mexanizimi jadallashtiradi. Ultrabinafsha nurlanishida ko'zatilib istalgan o'ta yangi yulduzlar turiga mansub bo'lishi mumkin.

II – turdagi o'ta yangi yulduzlar. Ular kattaroq yulduzlardan kelib chiqadi (SN 1987 A aynan ana shu turga tegishli). Quyda massasi **25 sekunli** yulduzlarning ikki modelidagi nukleosintezning 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.

Jadval 1

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.

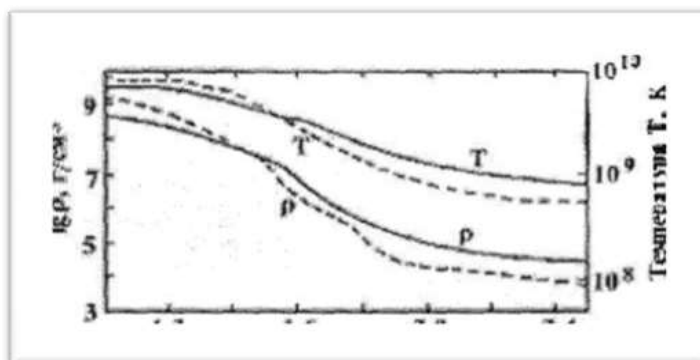
Model II ni Galaktika evolutsiyasining ilk bosqichlarida mavjud bo'lgan II tipli yulduzlarni tasniflaydi. Elementlar tarkibi 1 – jadval) har qanday ikkilamchi reaksiyalarni o'zaro bog'libchi yadrolarni o'z ichiga oladi, u kiruvchi va chiquvchi kanallarda n , p , α , γ , shuningdek $\alpha + \alpha + \alpha$. $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$, $^{12}\text{C} + ^{16}\text{O}$, $^{16}\text{O} + ^{16}\text{O}$ 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, uglorod, 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.

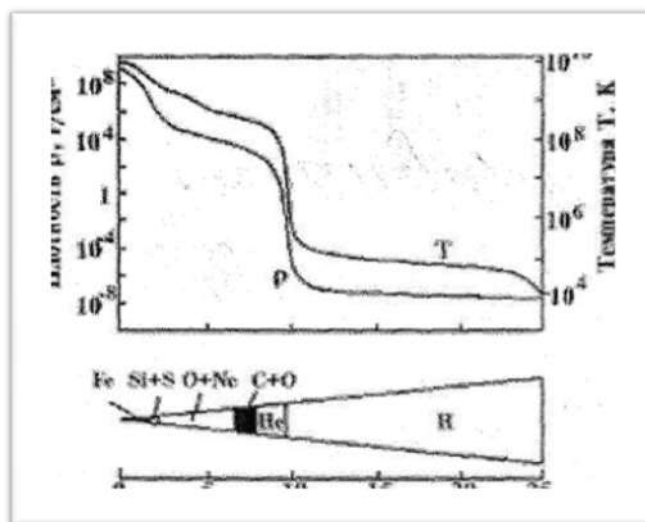
Модель	Масса, $M_{\odot}$	Радиус, см	Температура поверхности, К	Фотонная светимость, эрг/с
Модель I	25	$6.49 \cdot 10^{13}$	4370	$1.09 \cdot 10^{39}$
Модель II	25	$1.27 \cdot 10^{13}$	9790	$1.05 \cdot 10^{39}$

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 9 – rasmda keltirilgan.



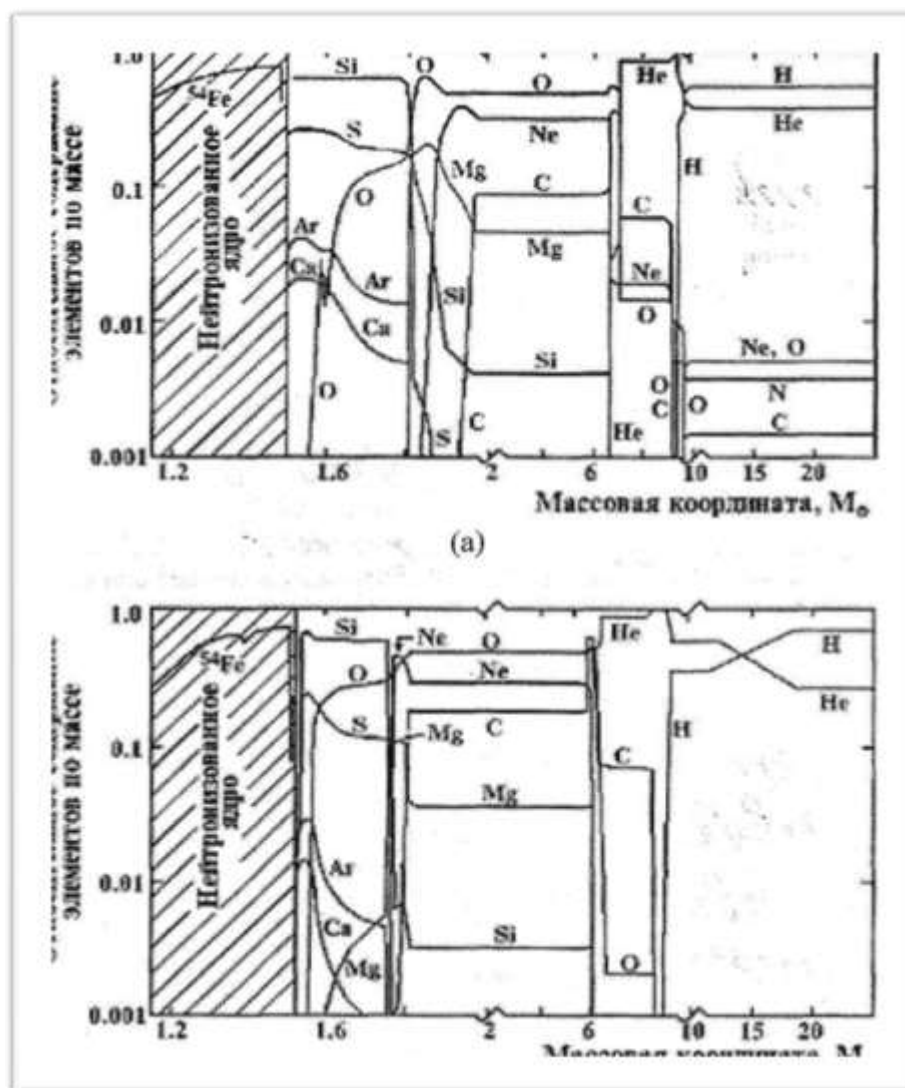
9 – rasm. Zichlik lagarifning temperaturaga bog'liqligi $25 M_{\odot}$ - tipdagi yulduzlar uchun

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



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

Model I va II uchun kimyoviy tarkibi 10 – rasmda ko‘rsatilgan.

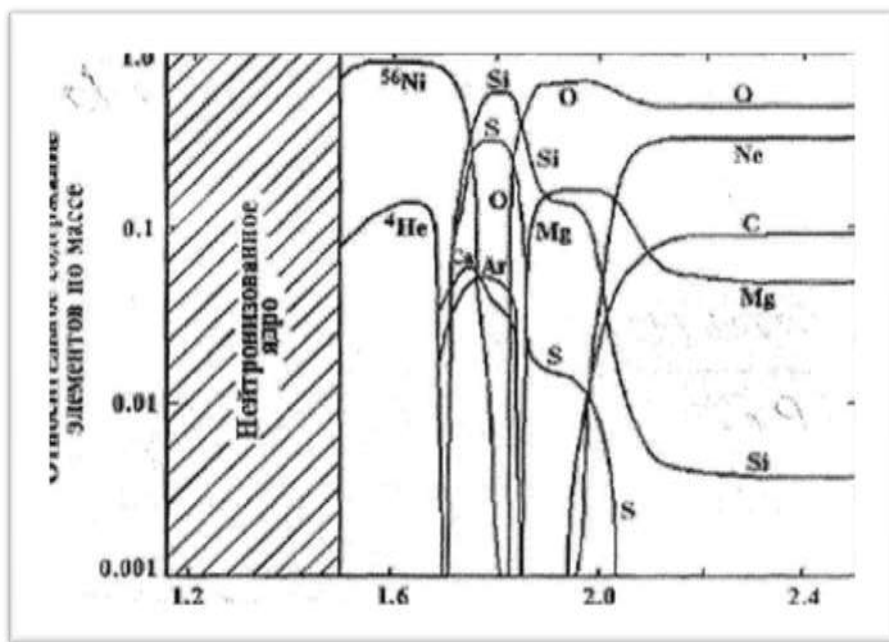


11 – rasm. I (α) va II (β) modellar uchun yulduzlarning portlashdan oldingi kimyoviy tarkibi.

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

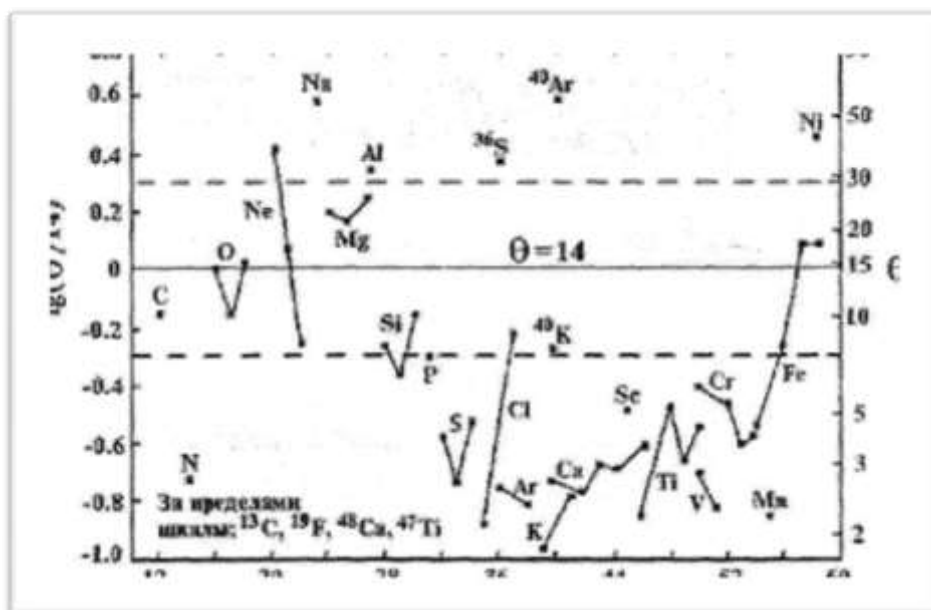
Temir yadro neytronlashgan maddaga kirgan va kremniy, oltingugurt, kislorod, neon, uglerod va geliydan iborat moddlarning qatlami bilan o'ralgan. Buning hammasi vodorodli qoboq bilan o'ralgan. Model I holatida yulduzning tashqi qatlami neon va kislorod elementlari bilan yanada ko'proq boyitilgan. 11 – 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 parchalanish 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'ladir. Bu jarayon moddaning neytronlashuvi deb ataladi. Tez sovish jarayoni yulduzning keyingi siqilish bilan kuzatiladi. Yulduzning markasiga tushuvchi maddaning 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 $p + e^- \rightarrow n^+ + \nu_e$ 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 12 – rasmda keltirilgan natijalar neytronlashgan yadrodan tashqari barcha modda chiqarib tashlanishidan darak beradi.



12 – рasm. 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 nukleysintezlarning kechishi uchun sharoit yartadi, uning natijasida bir necha daqiqa davomida bu sohadagi yulduzning element tarkibi qayta taqsimlanadi (13 – rasm). Yulduzning boshqa qismining moddasi ($M > 2.3 M_{\odot}$) kimyoviy tarkibi o'zgarmasdan yulduzlararo muhitga tashlanadi. Portlovchi nukleysintez natijalari 2 – jadvalada va 12 – rasmda kaltirilgan. 12 – rasmda portlovchi nukleysintezda hosil tashlanuvchi elementlarning tarkibi solishtiriladi.



13 – 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 koeffisienti 14 ni tashkil etad. Ya'ni ^{16}O izotopining har bir yadrosiga ^{16}O ning 13 yadrosi hosil bo'ladi. 13 – 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'zlash. 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

Xulosa

1. Yulduzlar - ulkan gaz sharlari bo'lib, o'z yorug'ligini 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 ham tashkil topgan.

2. Siqilayotgan yulduzlarning ichki harorati bir necha million gradusga yetadigan muayyan sharoitlarda yadrolarning issiqlik tezliklari shu qadar yuqori bo'ladiki, bunda yadrolar Kulon itarilishi kuchini yengib, bir-birlari bilan qushila boshlaydi. Ayni shunda yulduzlarning qa'rida alkimyogarlarning bir elementni boshqa elementga aylantirish buyicha asriy orzusi ushaladi. Yadro sintezining shunday reaksiyalaridan biri vodorod atomining to'rt yadrosi - protonlardan geliy hosil bo'lishidir. Bunday reaksiya vaqtida ajraladigan energiya kimyoviy reaksiyalarda ajralib chiqadigan energiyadan ancha katta bo'ladi.

3. Massasi katta bo'lgan yulduzlar ancha tezroq rivojlanadi va ba'zan halokatli o'zgarishlarni boshidan kechiradi. Massasi kichik yulduzlarda evolyusiya jarayoni ancha sokin va uzoqroq davom etadi. Quyoshning yadrosida 4.5 milliard yildan keyin vodorod zaxirasi tugagach, energiya ajralishi tuxtaydi va u o'z gravitatsiyasi ta'sirida siqila boshlaydi. Bu holat yadroda haroratning yanada ortishiga olib keladi. Harorat 100 million gradusgacha kutarilganda uch o'lchamli alfa jarayoni boshlanadi: geliyning uchta yadrosi qo'shilib, bitta uglerod yadrosi tashkil topadi. Protonlar ishtirokidagi yadro reaksiyalari singari bu yerda ham massa farqi energiya shaklida ajralib chiqadi. Yulduz ichida og'irroq elementlarni hosil qiladigan boshqa reaksiyalar aynan shu zaylda kechadi.

4. Yanada og'irroq atom yadrolarining hosil bo'lishi chog'ida energiya ajralmaydi va shuning uchun yadro reaksiyalari yulduzda hamma kimyoviy elementlar temirga aylangunicha energiya bilan ta'minlab turishi mumkin. Temirdan og'irroq elementlar yadrolari portlash tarzidagi jarayonlar vaqtidagina, ya'ni o'ta yangi yulduzlar chaqnashlari paytida sintezlanishi mumkin.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Zeldovich Yf. B., Blinnikov SI., Fizicheskiye osnovi stroyeniya i evolyusii zvezd MGU, 1981
2. Teyler R. Stroyeniya i evolyusii zvezd M; Mir 1973
3. Zakirov M. M Fizika zvezd. Elektron o'quv qo'llanma. 2005
4. I.Sattarov, Astrofizika 1 – qisim –T; “Ta’lim nashiryodi ” 2009 -284 bet
5. D. Ya. Martinov, Kurs obshiy astrofizika, Nauka,-M 1987
6. M Mamadazimov Astronomiya “O’qituvchi” NMIU, 2008 -264 bet
7. G Mursalimov va A Rahimov Umumiy astronomiya kursi. –T “O’qituvchi” 1976 -224 bet
8. S.N. Nuriddinov Umumiy astronomiya kursi,-T,O’zMU, 2000
9. http://www/2.usu.ru/physics/astron/win/genast_r.htm 2010
10. <http://www.astronet.ru/db/msg/1190817>
11. V. Ya. Martinov, Kurs obshey astrofiziki,-M, 1986
12. I. Sattarov Kosmik stansiyalar sayyoralarni tekshiradi.-1976.
13. T. A. Alimov, B.M., Maxmudov “Astronomiya asoslari” Samaqand 2003
14. T. A. Alimov, B.M., Maxmudov “Cherenkovskiy metod izucheniya kosmocheskix Iuchey sverxvisokix energiy” Izd-vo SamDU, 2004.
15. P. G. Kulikovskiy, Spravochnik lyubitelya astronomii, M., Nauka, 1971