

**Дәрістің мақсаты** – жұлдыздардың пайда болуынан бастап дамуының соңғы кезеңіне дейінгі оның негізгі кезеңдерін зерттеу.

**Дәрістің жоспары:**

1. Жұлдыздың туылуы
2. Жұлдыздар эволюциясының бастапқы кезеңі
3. Жұлдыздың қалыптасу кезеңі
4. Жұлдыздар эволюциясының соңғы кезеңдері
5. Әдебиеттер тізімі

**Жұлдыздың эволюциясы** – жұлдызда ядролық реакциялардың жүруіне байланысты химиялық құрамының өзгеруінен туындаған оның физикалық сипаттамаларының (көлемі, температурасы, жарқырауы) және ішкі құрылымының уақыт бойынша өзгеруі.

Жұлдыздардың эволюциясын және сыртқы параметрлердің (көлемі, жарқырауы, массасы) өзгеруін түсіну үшін жұлдыздардың ішкі қабаттарында болатын процестерді талдау қажет.

Әлемдік эволюцияның қазіргі кезеңінде жұлдыздар Әлемдегі ең маңызды нысандар екені сөзсіз.

Біріншіден, галактикалардың жарық заттарының массасының көп бөлігі жұлдыздарда шоғырланған (Құс Жолында – шамамен 90%).

Екіншіден, жұлдыздар Әлемдегі электромагниттік сәулелену энергиясының ең маңызды жеткізушілері болып табылады.

Үшіншіден, Әлем материясының химиялық құрамы, дәлірек айтқанда, элементтердің көптігі және оның уақыт бойынша өзгеруі толығымен дерлік жұлдыздардың ішкі бөлігіндегі ядролық өзгерістер процестерімен анықталады.

**Жұлдыздың туылуы**

Жұлдыздың эволюциясы алып молекулалық бұлттан басталады. Онда гравитациялық тұрақсыздық нәтижесінде тығыздықтың бастапқы ауытқуы өсе бастайды. Галактикадағы «бос» кеңістіктің көпшілігінде шын мәнінде бір см<sup>3</sup> үшін 0,1 мен 1 молекула бар. Молекулалық бұлттың тығыздығы 1 см<sup>3</sup> үшін шамамен миллион молекуланы құрайды. Мұндай бұлттың массасы оның көлеміне байланысты Күннің массасынан 100 000-10 000 000 есе артық (диаметрі 50-ден 300 жарық жылына дейін).

Ыдыраған кезде молекулалық бұлт бөліктерге бөлініп, кішірек және кішірек шоғырлар түзеді. Массасы ~100 Күн массасынан аз материя жұлдызды құра алады. Мұндай түзілімдерде гравитациялық потенциалдық энергияның бөлінуінен газ жиырылған кезде қызады, ал бұлт айналмалы сфералық нысанға айналып, протожұлдызға айналады.

Жұлдыздар өмір сүруінің алғашқы кезеңдерінде әдетте шаң мен газдың тығыз бұлттында көрінбейді.

Протожұлдыздардың өте аз бөлігі термоядролық синтез реакциялары үшін жеткілікті температураға жете алмайды. Мұндай жұлдыздар «қоңыр

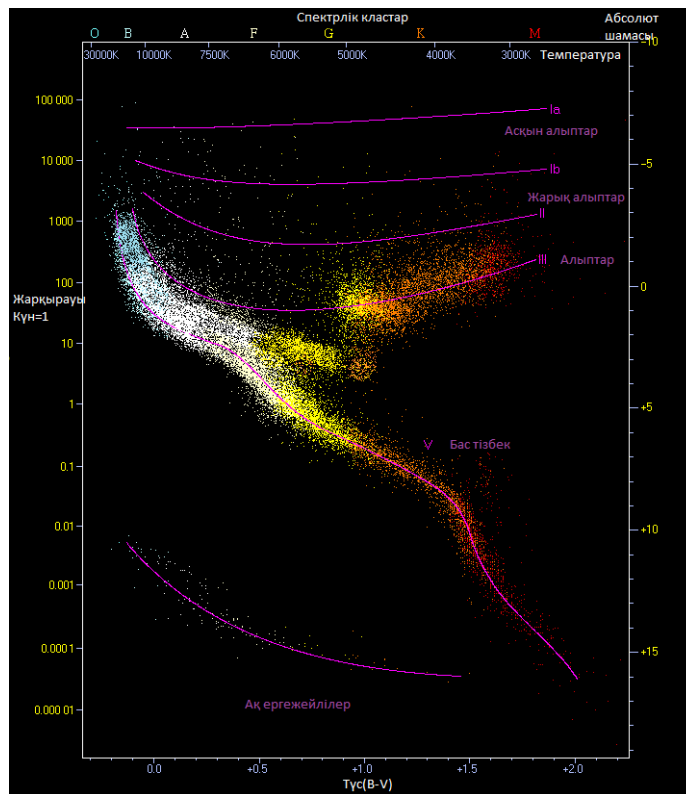
ергежейлілер» деп аталады, олардың массасы Күннің оннан бір бөлігінен аспайды. Мұндай жұлдыздар бірнеше жүз миллион жыл бойы бірте-бірте суытып, тез өледі. Ең массивті протожұлдыздардың кейбірінде күшті қысу салдарынан температура 10 миллион К-ге жетуі мүмкін, бұл сутегінен гелийді синтездеуге мүмкіндік береді. Термоядролық реакциялардың басталуы гидростатикалық тепе-теңдікті орнатып, ядроның одан әрі гравитациялық күйреуін болдырмайды. Әрі қарай, жұлдыз тұрақты күйде болуы мүмкін.



1-сурет. J1672835.29-763111.64 протожұлдызы [1]

### **Жұлдыздар эволюциясының бастапқы кезеңі**

Герцшпрунг-Рассел диаграммасында пайда болған жұлдыз жоғарғы оң жақ бұрышта нүктені алады: оның жарықтығы жоғары және температурасы төмен.



2-сурет. Герцшпрунг-Рассел диаграммасы [2]

Негізгі сәулелену инфрақызыл диапазонда болады. Суық шаң қабығының сәулесі бізге жетеді. Эволюция процесінде жұлдыздың диаграммадағы орны өзгереді. Бұл кезеңде энергияның жалғыз көзі гравитациялық қысу болып табылады. Сондықтан жұлдыз ордината осіне параллель өте жылдам қозғалады.

Бетінің температурасы өзгермейді, бірақ радиусы мен жарықтығы төмендейді. Жұлдыздың ортасындағы температура көтеріліп, реакциялар жеңіл элементтерден басталатын мәнге жетеді: литий, бериллий, бор, олар тез күйіп кетеді, бірақ қысуды бәсеңдете алады. Жол ордината осіне параллель айналады, жұлдыз бетіндегі температура жоғарылайды, ал жарықтығы тұрақты дерлік сақталады. Ақырында, жұлдыздың ортасында сутектен гелийдің түзілу реакциялары (сутегінің жануы) басталады. Жұлдыз бас тізбекке кіреді.

Бастапқы кезеңнің ұзақтығы жұлдыздың массасымен анықталады. Күн сияқты жұлдыздар үшін шамамен 1 миллион жыл, массасы  $10 M_{\odot}$  жұлдыз үшін шамамен 1000 есе аз, ал массасы  $0,1 M_{\odot}$  жұлдыз үшін ол мыңдаған есе көп.

#### *Бас тізбекті кезеңі*

Бас тізбекті сатысында жұлдыз сутекті гелийге айналдырудың ядролық реакцияларында энергияның бөлінуіне байланысты жарқырайды. Сутегінің берілуі шамамен  $10^{10}$  жыл бойы массасы  $1 M_{\odot}$  жұлдыздың жарқырауын қамтамасыз етеді. Массасы үлкен жұлдыздар сутекті тезірек тұтынады: мысалы, массасы  $10 M_{\odot}$  жұлдыз сутекті  $10^7$  жылдан аз уақыт ішінде тұтынады.

#### *Массасы төмен жұлдыздар*

Сутегі жанған кезде жұлдыздың орталық аймақтары қатты қысылады.

#### *Массасы жоғары жұлдыздар*

Бас тізбекке жеткеннен кейін массасы жоғары жұлдыздың эволюциясы ( $>1,5 M_{\odot}$ ) жұлдыздың ішектеріндегі ядролық отынның жану жағдайларымен анықталады. Бас тізбекті сатысында бұл сутегінің жануы, бірақ массасы аз жұлдыздардан айырмашылығы, ядрода көміртегі-азот циклінің реакциялары басым. Бұл циклде C және N атомдары катализатор рөлін атқарады. Мұндай цикл реакцияларындағы энергияның бөліну жылдамдығы  $T^{17}$  пропорционал. Демек, ядрода энергия сәулелену арқылы тасымалданатын аймақпен қоршалған конвективті ядро түзіледі.

Массасы жоғары жұлдыздардың жарқырауы Күннің жарқырауынан әлдеқайда жоғары, ал сутегі тезірек жұмсалады. Бұл сондай-ақ мұндай жұлдыздардың орталығындағы температураның да әлдеқайда жоғары болуымен байланысты.

Конвективті ядроның материясындағы сутегінің үлесі азайған сайын энергияның бөліну жылдамдығы төмендейді. Бірақ босату жылдамдығы жарықтықпен анықталатындықтан, ядро жиырыла бастайды, ал энергияның бөліну жылдамдығы тұрақты болып қалады. Бұл кезде жұлдыз кеңейіп, қызыл алыптар аймағына ауысады.

### **Жұлдыздың қалыптасу кезеңі**

#### *Массасы төмен жұлдыздар*

Сутегі толығымен жанып біткен кезде массасы аз жұлдыздың ортасында кішкентай гелий өзегі пайда болады. Өзекте заттың тығыздығы мен температурасы сәйкесінше  $10^9 \text{ кг/м}^3$  және  $10^8 \text{ К}$  мәнге жетеді. Сутегінің жануы ядроның бетінде жүреді. Өзектегі температура көтерілген сайын сутегінің жану жылдамдығы артып, жарықтығы артады. Сәулелі аймақ бірте-бірте жоғалады. Ал конвективті ағындардың жылдамдығының артуына байланысты жұлдыздың сыртқы қабаттары үрлейді. Оның көлемі мен жарқырауы артады – жұлдыз қызыл алыпқа айналады.

#### *Массасы жоғары жұлдыздар*

Массасы үлкен жұлдыздағы сутегі толығымен таусылғанда, ядрода үш еселі гелий реакциясы және бір уақытта оттегінің түзілу реакциясы ( $3\text{He} \Rightarrow \text{C}$  және  $\text{C} + \text{He} \Rightarrow \text{O}$ ) басталады. Бұл кезде гелий өзегінің бетінде сутегі жана бастайды. Бірінші қабат көзі пайда болады.

Гелийдің жеткізілімі өте тез таусылады, өйткені сипатталған реакцияларда әрбір элементар әрекетте салыстырмалы түрде аз энергия бөлінеді. Сурет қайталанып, жұлдызда екі қабат көзі пайда болады және ядрода  $\text{C} + \text{C} \Rightarrow \text{Mg}$  реакциясы басталады.

Герцшпрунг-Рассел диаграммасында жұлдыз алыптар тізбегі бойымен ығысады немесе периодты түрде Цефеидке айналады.

### **Жұлдыздар эволюциясының соңғы кезеңдері**

#### *Массасы төмен ескі жұлдыздар*

Массасы аз жұлдыз үшін ақырында конвективтік ағынның жылдамдығы белгілі бір деңгейде екінші қашу жылдамдығына жетеді, қабық үзіліп, жұлдыз планеталық тұмандықпен қоршалған ақ ергежейліге айналады.

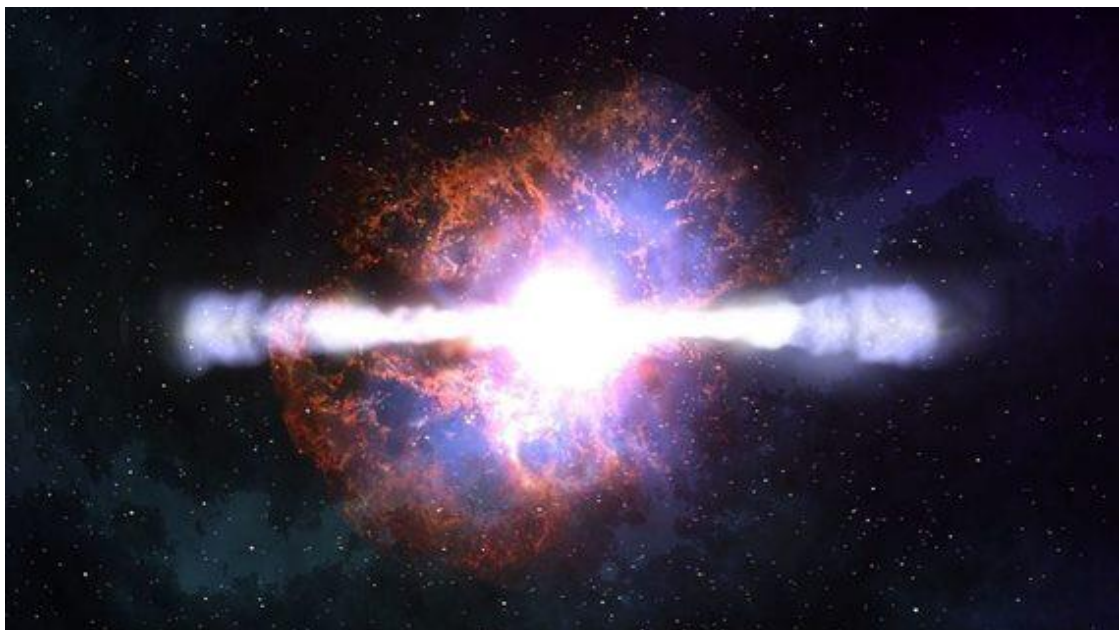
#### *Массасы жоғары жұлдыздардың соңы*

Эволюциясының соңында массасы жоғары жұлдыз өте күрделі құрылымға ие. Әрбір қабаттың өзіндік химиялық құрамы бар, бірнеше қабат көздерінде ядролық реакциялар жүреді, орталықта темір өзегі түзіледі.

Темірмен ядролық реакциялар болмайды, өйткені олар энергияны жұмсауды қажет етеді. Сондықтан темір өзегі тез сығылады, ондағы температура мен тығыздық артып, өте үлкен мәндерге жетеді -  $10^9$  К температура және  $10^9$  кг/м<sup>3</sup> тығыздық.

Осы сәтте ядроға бір мезгілде және өте жылдам болатын екі маңызды процесс басталады. Біріншісі – ядролық соқтығысу кезінде темір атомдары 14 гелий атомына ыдырайды; екіншісі – электрондар протондарға «байланысып», нейтрондар түзеді. Екі процесс те энергияны жұтумен байланысты. Жұлдыздың сыртқы қабаттары орталыққа қарай құлай бастайды.

Сыртқы қабаттардың құлауы олардағы температураның күрт жоғарылауына әкеледі. Сутегі, гелий және көміртегі жана бастайды. Бұл орталық ядродан келетін нейтрондардың қуатты ағынымен бірге жүреді. Нәтижесінде, калифорнийге дейінгі барлық ауыр элементтерді қамтитын жұлдыздың сыртқы қабаттарын лақтыратын қуатты ядролық жарылыс орын алады. Қазіргі заманғы көзқарастарға сәйкес, ауыр химиялық элементтердің барлық атомдары (яғни гелийден ауыр) Әлемде дәл асқын жаңа жұлдыздың жарылыстарында пайда болды. Жарылып жатқан асқын жаңа жұлдыздың орнында жарылатын жұлдыздың массасына байланысты нейтрондық жұлдыз немесе қара құрдым қалады.



3-сурет. Асқын жаңа жұлдыздың жарылуы [3]

### Әдебиеттер тізімі:

1. <https://focus.ua/technologies/498757-vo-vseh-mrachnyh-detalyah-habbl-zapechatlel-rozhdenie-novoy-zvezdy-foto>
2. [https://kk.wikipedia.org/wiki/Герцшпрунг\\_—\\_Расселл\\_диаграммасы](https://kk.wikipedia.org/wiki/Герцшпрунг_—_Расселл_диаграммасы)
3. <https://dev.ua/ru/news/vybukh-nadnovoi-poshkodyv-ozonovyi-shar-1700217132>