

## *Дәріс 4.*

### **Жұлдыздардың спектрлік классификациясы**

**Дәрістің мақсаты** – студенттерді жұлдыздардың спектрлік классификациясының негізгі принциптерімен және әдістерімен таныстыру.

#### **Дәрістің жоспары:**

1. Жұлдыздардың спектрін зерттеу тарихы
2. Морган және Кианн классификациясы
3. Асимптотикалық алып тармақты жұлдыздар (R, N және S)
4. R және N типті жұлдыздар
5. S типті жұлдыздар
6. Әдебиеттер тізімі

Астрономдар XIX ғасырдың ортасында жұлдыздардың спектрін зерттей бастады. 1802 жылы Уильям Уолластон күн сәулесінің спектрі түстердің үздіксіз жолағы ретінде пайда болмайтынын, оның үстіне бірнеше қара сызықтар салынғанын байқады. Уолластон бұл сызықтарды түстер арасындағы табиғи шекара деп түсіндірді. 1814 жылы Джозеф Фраунгофер күн спектрін мұқият бақылап, 600-ге жуық қараңғы сызықтарды ашты және олардың 324-інің толқын ұзындығын арнайы өлшеді.

Қазіргі уақытта спектрлік талдау жұлдыздардың беткі қабаттарының физикалық қасиеттері мен олардың химиялық құрамы туралы мәліметтердің негізгі көзі болып табылады, өйткені ол жұлдыздың сәулеленуі туралы ақпаратты барынша толық пайдаланады. Жұлдыздардың спектрограммалары әр түрлі мақсатта алынады, жарық жұлдыздардың атмосферасын егжей-тегжейлі зерттеу үшін спектрлік аспаптарды пайдаланады.

Фраунгофердің Күн спектріндегі көптеген сызықтары оларды көрсету үшін жасаған белгілеулерін сақтайды. 1864 жылы сэр Уильям Хаггинс басқа жұлдыздардың спектрлеріндегі осы қараңғы сызықтардың кейбірін жердегі заттармен салыстырып, жұлдыздар экзотикалық емес, қарапайым материалдардан жасалғанын көрсетті. Бұл заманауи спектроскопияға жол ашты.

Спектрлер ашылғанға дейін ғалымдар жұлдыздарды жіктеудің жолдарын табуға тырысты. Спектрлерді бақылай отырып, астрономдар көптеген жұлдыздардың спектрлік сызықтарында аздаған айқын үлгілерді көрсететінін түсінді. Спектрлік белгілер бойынша жіктеу жұлдыздарды түсінудің қуатты құралы екенін тез дәлелдеді.

Қазіргі заманғы спектрлік классификация схемасы 20 ғасырдың басында Гарвард обсерваториясында жасалған. Жұмысты 1872 жылы Веганың алғашқы спектрін суретке түсірген Генри Дрейпер бастады. Ол қайтыс болғаннан кейін оның жұмысын жалғастыру үшін әйелі обсерваторияға құрал-жабдықтар мен бір соманы сыйға тартты. Классификация бойынша негізгі жұмысты 1918 жылдан 1924 жылға дейін Энни Джамп Кэннон жүргізді.

Жұлдыздық сәулеленудің алғашқы зерттеулерінен бастап жұлдыздардың спектрлері өте әртүрлі екені анықталды. Сондықтан спектрлердің

классификациясы ең алдымен температуралық классификация болып табылады. Хронологиялық тұрғыдан алғанда, бірінші спектрлік жіктеу жүйесі HD жұлдыздар каталогын дайындау кезінде жасалған Гарвард жүйесі болып табылады.

Мұнда бастапқыда спектрлік кластар үшін келесі белгілер енгізілді (жұлдыз бетіндегі эффективті температураның кему тәртібімен): P - O - B - A - F - G - K - M, мұнда P символы газ тәрізді тұмандықтардың спектрлерін белгілеу үшін пайдаланылды. Кейіннен салқын қызыл жұлдыздарға S, R және N белгілеулері қосылды. O класы Oa, Ob, Oc, Od қосалқы кластарына және эмиссиялық жұлдызшалар Oe және Oe5 қосалқы класына бөлінді. Басқа спектрлік кластар үшін B0-B9, A0-A5, F0, F2, F5, F8, G0, G5, K0, K2 ішкі кластар енгізілді. Ең суық жұлдыздар үшін TiO титан оксиді жолақтарының қарқындылығына қарай жіктелген Ma, Mb, Mc ішкі кластары және Мира Цети (миридтер) сияқты ұзақ мерзімді айнымалылар үшін Md қосалқы класы енгізілді. Гарвард жүйесі бір өлшемді, өйткені спектрлік классты анықтайтын жалғыз параметр – температура.

Вильсон тауы обсерваториясының классификациялық схемасында жарықтылық класының белгілеулері енгізілді: ергежейлілер үшін (Герцшпрунг-Рассел диаграммасының бас тізбекті жұлдыздары, ағылшын тіліндегі dwarf – ергежей сөзінен шыққан), g – алыптар үшін, sd және sg – ергежейлілер және субалыптар үшін. Осылайша, спектрлік классификация екі өлшемдіге айналды – классификация температура (спектрлік класс) бойынша да, жарықтығы бойынша да (жарықтандыру класы) жүргізілді. Жұқа спектрлік сызықтары бар жұлдыздар үшін s белгісі қолданылды, мұндай жұлдыздар әдетте асқын алыптар болып шығады.

M спектрлік класының ішкі класы үшін Гарвард белгілеулерінің орнына M0 - M6 белгілеулері енгізілді. Мысалы, K5 класының қызыл гиганты үшін бізде gK5 белгісі бар, ал G0 класының кіші ергежейлі үшін sdG0 белгісі бар. Сонымен қатар, осы спектрлік ішкі класы жұқа сызықтары бар жұлдыздарды белгілеу үшін қосымша s индексі, ал кең сызықтары бар спектрлер үшін n индексі пайдаланылды, n индексі бар жұлдыздар әдетте жылдам айналатын жұлдыздар болып табылады, ал ең жылдам айналатындары тіпті nn деп белгіленуі мүмкін.

### **Морган және Кинан классификациясы**

Ең заманауи жіктеу схемасы Морган және Кинан классификациясы (МКК жүйесі) болды.

Спектрлердегі айырмашылықтар әртүрлі химиялық құрамдарды көрсететіндей көрінсе де, барлық жағдайларда дерлік олар әртүрлі бет температурасын көрсетеді. Кейбір ерекшеліктерді қоспағанда жұлдыздардың бетіндегі материал «примитивті» болып есептеледі. Жұлдыздың өзегіндегі біріктіру композицияның түбегейлі өзгеруіне әкеледі, бірақ тұтастай алғанда материал жұлдыздың көрінетін беті мен оның ядросы арасында араласпайды.

Ең жоғары температурадан төменге қарай реттелген, жеті негізгі жұлдыз түрі: O, B, A, F, G, K және M. Астрономдар жіктеу схемасының ретін есте сақтау үшін бірнеше мнемотехниканың бірін пайдаланады. O, B және A типті жұлдыздарды ерте спектрлік типтер деп атайды, ал салқын жұлдыздарды (G, K және M) кеш типті жұлдыздар деп атайды.

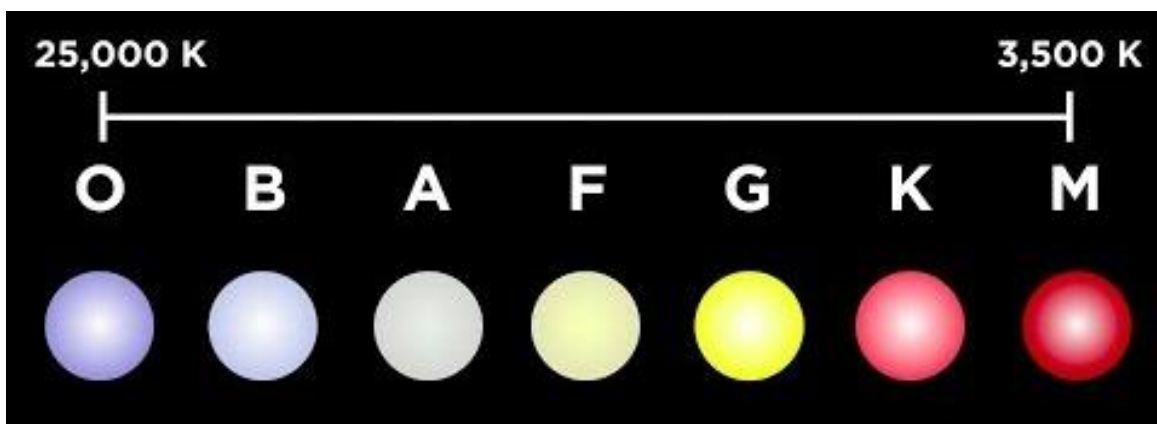
1-кесте.

Спектр типі	Түсі	Температура (К)	Негізгі сипаттамалары	Мысалдар
O	Көк	>25000	Эмиссиядағы немесе сіңірудегі жалғыз иондалған гелий сызықтары. Күшті ультракүлгін континуум.	10 Lacerta
B	Көк	11000-25000	Жұтылудағы бейтарап гелий сызықтары.	Rigel Spica
A	Көк	7500-11000	Сутегі сызықтары A0 жұлдыздары үшін ең күшті мәнде болады.	Sirius Vega
F	Көк, ақ	6000-7500	Металл сызықтар байқалады.	Canopus Procyon
G	Ақ, сарыға	5000-6000	Күн типті спектр. Бейтарап металл атомдары мен иондарының сіңіру сызықтары күшейеді.	Sun Capella
K	Қызғылт сары, қызыл	3500-5000	Металл сызықтары басым. Әлсіз көк континуум.	Arcturus Aldebaran
M	Қызыл	<3500	Титан оксидінің молекулалық жолақтары байқалады.	Betelgeuse Antares

МКК жүйесінде жіктеу үшін спектрдің көк аймағындағы орташа дисперсияның (50 - 70 А/мм) спектрограммалары қолданылады. Классификация екі өлшемді деп аталады, өйткені ол тек жұлдыз бетінің температурасының өлшемін – спектрлік классты ғана емес, сонымен қатар жарықтық өлшемін – жарықтық класын да пайдаланады. Белгілі бір спектрлік бөлшектердің қарқындылық арақатынастарын визуалды бағалау негізінде объективті жіктеу критерийлері әзірленді. Классификацияға стандартты тәсілді қамтамасыз ету үшін авторлар барлық спектрлік класстар мен көптеген жарықтық кластары үшін стандартты спектрлердің кескін атласын жасады. Спектрдің түрі қолданылатын телескопқа, спектрографқа және жарық детекторына байланысты. Сондықтан көптеген обсерваториялар МКК классификациясы

шеңберінде қалып, стандартты критерийлерге негізделген өздерінің критерийлік жүйелерін әзірлейді.

Бұл жүйе спектрлік класстар үшін келесі белгілеулерді енгізеді: O-B-A-F-G-K(-R-N-C)-M-S. Тізбек басының спектрлік кластары (O, B) дәстүрлі түрде ерте, ал соңы (K, M, C) кеш деп аталады, дегенмен спектрлік классификацияның жасқа ешқандай қатысы жоқ. Спектрлік класстар тым үлкен бөлім болып табылады, сондықтан 1-ден 9-ға дейінгі араб цифрларымен белгіленген спектрлік ішкі класстар енгізіледі.



1-сурет. Жұлдыздардың спектрлік жіктелуі [1]

- МКК жүйесінде жұлдыздар жарқырауы бойынша келесі топтарға бөлінеді:
- I – жарықтығын арттыру бойынша Ib, Iab және Ia кластарына бөлінген жарқын асқын алыптар;
  - II – асқын алыптар;
  - III – алыптар;
  - IV – субалыптар – негізгі тізбекті жұлдыздарға қарағанда жарқырауы сәл жоғары жұлдыздар;
  - V - жиі ергежейлілер деп аталатын бас тізбекті жұлдыздар;
  - VI – кіші ергежейлілер – бұлар да бас тізбекті жұлдыздар, бірақ металдық қасиеті өте төмен;
  - VII - ақ ергежейлілер.

2-кесте.

Белгіленуі	Жұлдыз класы	Мысалдар
0	Төтенше, жарқыраған асқын алыптар	
Ia	Жарқыраған асқын алыптар	Betelgeuse
Ib	Жарығы аз асқын алыптар	Antares
II	Жарқын алыптар	Canopus
III	Қарапайым алыптар	Aldebaran
IV	Субалыптар	Procyon

V	Негізгі реттілік	Күн
sd	Субергежейлілер	Kapteyn's Star (HD 33793)
wd	Ақ ергежейлілер	Sirius B

### **Асимптотикалық алып тармақты жұлдыздар (R, N және S)**

Ядродағы сутегі қоры таусылғаннан кейін, гелий түзу үшін сутегінің ядролық синтезі ядроны қоршап тұрған қабықта жалғасады. Негізінде, ядро сутегі жанып тұрған қабықпен қапталған ыстық, азғындаған гелий жұлдызы (немесе гелий ақ ергежейлі) болады. Процесті дөрекі түрде жеңілдете отырып, инертті ядроның айналасындағы қабықшада пайда болған гелий, дегенерация қысымы ядроны қатты қыздырғанша, ядроның ішіндегі гелийдің синтезі басталмайынша, ядроның массасын арттырады деп айта аламыз. Ядродағы гелийдің синтезі ядродағы отын қоры қайтадан таусылғанша және жұлдыз гелий синтезі жүретін ішкі қабықпен және сыртқы қабықпен қоршалған ақ ергежейліктің инертті ыстық көміртегі-оттегі өзегіне айналғанша жалғасады. сутегі синтезі. Екілік конверттің жануының бұл кезеңі асимптотикалық гигант тармақ сатысы ретінде белгілі, бұл атау Герцшпрунг-Рассел диаграммасын құру кезінде жұлдыздар эволюциясы қалай жүретініне негізделген.

Асимптотикалық алып тармақтағы жұлдыздар қысқа өмір сүреді. Жұлдыздың азғындалған ядросы бір қабықшалы жану кезеңіндегіге қарағанда массивтірек, ал азғындалған заттың ерекше табиғатына байланысты массивтірек ядро физикалық тұрғыдан кішірек. Сондықтан, үстіңгі қабаттардың ауырлық күші күштірек, қысым мен ауырлық арасындағы тепе-теңдікті сақтау үшін жоғары жарықты қажет етеді. Осылайша, жұлдыз энергияны өте жоғары жылдамдықпен жұмсайды және қызыл супергигантқа айналуы мүмкін. Жұлдыздар эволюциясының осы кезеңіндегі жұлдыздарды модельдеу қиынға соқты. Бір мәселе гелий қабығының жануы тұрақты емес. Гелий синтезінің қабаты жұқа. Атом энергетикасындағы шағын оң бұзылулар қосымша қысым жасайды және аумақ аздап өседі. Бірақ қабат жұқа болғандықтан, биіктіктің өзгеруі шамалы, яғни ыстық аймақтағы қысымның өзгеруі өте аз өзгереді. Жоғары температура ядролық реакциялардың жылдамдығын арттыруы мүмкін (көптеген реакция процестері температураға өте сезімтал, мысалы, гелий қабығында басым болуы мүмкін үштік альфа процесі). Осылайша, жергілікті реакциялардың жылдамдығы артады, ол тарағанға дейін көбірек жылу бөледі. Осылайша, жағдайдағы шағын жергілікті өзгерістерден үлкен әсер етуші реакциялардың ошақтары пайда болуы мүмкін. Қашып кету тек айтарлықтай кеңеюден және артық энергияны тасымалдау үшін конвективтік циклды жасағаннан кейін тоқтайды.

Егер гелийдің шығуы кезінде пайда болған конвективтік жасушалар сутегі синтезінің қабатына жетсе, бұл жұлдыздың ішіндегі материалды бетіне құлау механизмін қамтамасыз ете алады. Бұл температура бойынша K және M жұлдыздарына ұқсас, бірақ олардың сыртқы атмосфералары ауыр

элементтермен байытылған сияқты әртүрлі спектрлік ерекшеліктері бар бірнеше жұлдыз түрлерін жақсы түсіндіре алады. Бұл түрлерге R, N және S жатады.

### **R және N типті жұлдыздар**

Бірқатар алып жұлдыздар K немесе M типті жұлдыздарға ұқсайды, бірақ сонымен бірге көміртегі қосылыстарының спектрлік белгілерінің айтарлықтай асып кетуін көрсетеді. Оларды көбінесе «көміртекті жұлдыздар» деп атайды және көптеген астрономдар оларды C жұлдыздарының топтарына біріктіреді. Ең көп тараған спектрлік белгілер C2, CN және CH. Бұл жұлдыздардағы көміртегі мен оттегінің қатынасы қалыпты жұлдыздарға қарағанда төрт-бес есе жоғары. Бұл көміртекті қосылыстардың болуы спектрдің көк бөлігін сіңіріп, R және N типті алыптарға тән қызыл түс береді. R типті жұлдыздардың беттері ыстық болады және олар K типті жұлдыздарға көбірек ұқсайды. S типті жұлдыздардың беті салқынырақ және M типті жұлдыздарға ұқсас.

### **S типті жұлдыздар**

S типті жұлдыздарда s-процесс элементтері көп фотосфералар болады. Бұл бос нейтронды (изотопты өзгертетін элемент) басып алу нәтижесінде түзілетін элементтердің изотоптары, одан кейін бета ыдырауы (нейтрон протонға және электронға ыдырап, элементтің атомдық нөмірі жоғары элементке ауысуына әкеледі) және бір нейтроны аз изотоп). s-процесс атомдық нөмірі 56-дан (темір) жоғары элементтерді өндіруге болатын механизмдердің бірі болып табылады. s «баяу» дегенді білдіреді. Керісінше, оның серіктесі, r-процесс (жылдам) бос нейтрондар жеткілікті болған кезде пайда болады, сондықтан басып алынған нейтрон ыдырауға үлгермей тұрып, атом ядросында қосымша нейтрондар пайда болуы мүмкін.

M типті алыптарға тән титан, скандий және ванадий оксидтерінің әдеттегі сызықтарының орнына (немесе оларға қосымша) S типті жұлдыздарда цирконий, иттрий және барий сияқты ауыр элементтерді көруге болады. Барлық S типті жұлдыздардың айтарлықтай бөлігі айнымалы болып табылады.

### **Әдебиеттер тізімі:**

1. [https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fm.youtube.com%2Fwatch%3Fv%3DY5VU3Mp6abI&psig=AOvVaw3qfS-c5PXSzdHBPo40yM5H&ust=1709366846872000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CBQQjhxFwoTCPj2u\\_PN0oQDFQAAAAdAAAAABAJ](https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fm.youtube.com%2Fwatch%3Fv%3DY5VU3Mp6abI&psig=AOvVaw3qfS-c5PXSzdHBPo40yM5H&ust=1709366846872000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CBQQjhxFwoTCPj2u_PN0oQDFQAAAAdAAAAABAJ)
2. [http://www.star.ucl.ac.uk/~pac/spectral\\_classification.html](http://www.star.ucl.ac.uk/~pac/spectral_classification.html)
3. Habets, G. M. H. J. ; Heintze, J. R. W. Empirical bolometric corrections for the main-sequence // Astronomy and Astrophysics. – 1981. – Vol. 46, P.193–237.