

Дәріс 13. Жұлдыздар

Дәріс жоспары

1. Жұлдыздардың табиғатын зерттеу әдістері
2. Жұлдыздардың спектрлік классификациясы
3. Жұлдыздардың ішкі құрылымы
4. Қос жұлдыз жүйелері
5. Жұлдыздар құрылымы және жұлдыздар қойнауындағы физикалық күйлер

1. Жұлдыздардың табиғатын зерттеу әдістері

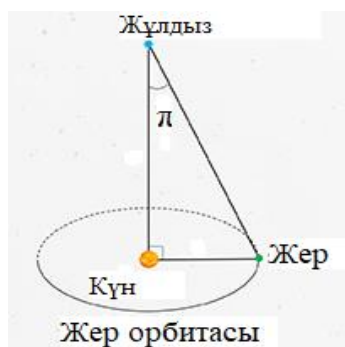
Жұлдыз (лат. stella немесе лат. astrum) - салмағы ерекше ауыр, өзегіндегі термоядролық реакция арқылы айналасынан қалыпты жарық шығаратын, плазмалық газ күйдегі аспан денесі. Жұлдыздар Ғаламдағы ең көп таралған объектілер. Космос затының 98%-і осы газды шарлардан құралған. Жұлдыздардың негізгі қасиеттері оның массасы, жарқырауы және радиусымен анықталады. Жұлдыздардың түстері әртүрлі болып келеді.

Жұлдыздардың табиғатын зерттеу үшін олардың:

- жұлдыздарға дейінгі қашықтықты табу
- температурасын анықтау
- сәулелік қозғалысын зерттеу қажет.

Жұлдыздарға дейінгі қашықтықты анықтаудың ең негізгі және көптеген жұлдыздар үшін жалғыз әдісі: *жылдық параллакс әдісі*.

Жердің орбитальдық қозғалысы нәтижесінде жердегі бақылаушы Жер орбитасының бір нүктесінен екіншісіне орын ауыстырғанда, бақылаушы үшін жақын жұлдыздың аспандағы орны өзгергендей болады. Жарты жыл ішінде жұлдыздың аспан сферасындағы ауытқуын өлшеп, оған дейінгі қашықтықты табуға болады.



Сурет 1. Жылдық параллакс әдісі.

Ауытқу $\pi = 1''$ болғандағы жұлдыздың қашықтығы бірлік ретінде алынған. Осы ұзындық бірлігі *парсек* деп аталған («параллакс-секунда»).

$$\Delta = 206265'' \text{ а}/\pi''$$

Δ - парсекпен өлшенеді.

Бұндай әдіспен жақын жұлдызға дейінгі қашықтық өлшенеді. Бұдан басқа жұлдыздарға дейінгі қашықтық *жарық жылымен* өлшенеді.

«Жарық жылы» (ж.ж.) жарықтың бір жылда өтетін қашықтығына тең.

Қазіргі кезге дейін 7500 жұлдыздың жылдық параллактары өлшенген. Бұл әдіспен анықталған қашықтық 200 пс-тан аспайды.

Парсек (пк) - $1''$ жылдық параллаксқа сәйкес қашықтық;

Жарық жылы - шамамен 300 000 км/с жылдамдықпен таралатын жарықтың бір жылда жүретін жолы.

Егер астрономиялық бірлік 149 600 000 км-ге тең қабылданса, онда:

$$1 \text{ пк} = 30,86 \times 10^{12} \text{ км} = 206,265 \text{ а.б.} = 3,26 \text{ жарық жылы}$$

(1 парсек = 3,26156377694428 жарық жылы)

$$1 \text{ жарық жылы} = 9,460 \times 10^{12} \text{ км} = 63\,240 \text{ а.б.} = 0,3067 \text{ пк.}$$

Астрономиялық бірліктерде әдетте Күн жүйесінің денелеріне дейінгі қашықтық көрсетіледі. Мысалы, Меркурий Күннен 0,387 а.б., ал Плутон 39,75 а.б. қашықтықта орналасқан.

Күн жүйесінен тыс аспан денелеріне дейінгі қашықтық әдетте парсекпен, килопарсекпен (1000 пс) және мегапарсекпен (1 000 000 пс), сондай-ақ жарық жылдарымен көрсетіледі. Бұл жағдайда

$$\Delta = \frac{1}{\pi''} \text{ пк және } \Delta = \frac{3,26}{\pi''} \text{ жарық жылы}$$

Күнге ең жақын жұлдыз «Проксима Центаврдың» жылдық параллакс $\pi = 0'',762$.

Жұлдыздарға дейінгі қашықтық 200 пс-тен артық болса, жұлдыздың көрінерлік ығысуы өте кішкене болып, оны өлшеу қиынға соғады. Онда жұлдызға дейінгі қашықтықты табудың басқа әдістері қолданылады. Мысалы жұлдыздардың спектрлерін, түсін, жұлдыздық шамасын анықтау әдістері арқылы. Бұл әдістер

жұлдыздардың басқа сипаттамаларына сүйенеді. Олардың қолданылу мүмкіндігі қашықтыққа онша тәуелді болмайды.

Жұлдыздық шама - бақылаушының жанында аспан объектісі тудыратын *жарықтандыруды* сипаттайтын өлшемсіз физикалық шама. Оның мәні субъективті түрде *жалтырау* (нүктелік объектілерде) немесе *жарықтық* (қашықтарда) ретінде қабылданады. Бұл жағдайда бір көздің жалтырауы оны эталон ретінде қабылданған екіншісінің жалтырауымен салыстыру арқылы көрсетіледі. Мұндай стандарттар әдетте арнайы таңдалған айнымалы емес жұлдыздар болып табылады. Жұлдыздық шама бастапқыда оптикалық жұлдыздардың көрінетін жалтырауының көрсеткіші ретінде енгізілді, бірақ кейінірек басқа сәулелену диапазондарына таралды: инфрақызыл, ультракүлгін.

Абсолютті жұлдыздық шама – 70 пк қашықтықтан жарқырайтын шырақтың жұлдыздық шамасы; объектінің жарқырауымен анықталады. Күннің болометрлік абсолютті жұлдыздық шамасы $M_{\odot} = +4,7$.

Погсон формуласын қолдануға және жұлдыздарға дейінгі қашықтықты анықтау. E шырағының жарқылы оның көрінетін жұлдыздық m шамасымен сипатталады. Бір шырақтың анықтау әдісіне байланысты әртүрлі көрінетін жұлдыздық шама болуы мүмкін: визуалды m_V , фотографиялық m_{pg} , фотовизуалды m_{pg} , фотоэлектрлік жұлдыздық шамалар V (сары), B (көк), U (ультракүлгін), болометрлік m_b және т.б.

Екі шырақтың E_1 және E_2 жарқылдарының қатынасы олардың көрінетін жұлдыздық шамалары m_1 және m_2 -мен Погсон формуласы арқылы байланысты:

$$\lg \frac{E_1}{E_2} = 0,4 (m_2 - m_1), \text{ немесе } \frac{E_1}{E_2} = 2,512^{-(m_1 - m_2)}$$

Айырмашылық

$$C = m_{pg} - m_V = m_{pg} - m_{pv}$$

кәдімгі түс көрсеткіші деп аталады, $(B-V)$ айырмашылығы – *негізгі түс көрсеткіші*, ал $(U-V)$ айырмашылығы – *ультракүлгін түс көрсеткіші* деп аталады, десе де көбіне оны айтқан кезде $(U-B)$ айырмашылығы да түсініледі.

Парсекада өрнектелген жұлдызға дейінгі r қашықтық және доға бұрыштарында өлшенген оның жылдық параллакссы π мына қатынаспен байланысты:

$$r = \frac{1}{\pi''}$$

Бізден 10 парсек қашықтықта орналасқан жұлдыз ие болуы мүмкін жұлдыздық шама жұлдыздың *M* абсолюттік жұлдыздық шамасы деп аталады.

1 парсек (*пк*) қашықтық бірлігі = 3,26 жарық жылы (*ж.ж.*) = 206265 астрономиялық бірлік (*а.б.*). 10 *пк* қашықтықта жұлдыздың параллакс $\pi = 0'',1$.

Параллакс, көрінетін және абсолютті жұлдыздық шама бірі бірімен мына қатынаста байланысады:

$$M = m + 5 + 5 \lg \pi'', \text{ немесе } M = m + 5 - 5 \lg r.$$

Күннің абсолюттік жұлдыздық шамасы $M_{\odot} = +4,88$.

L жұлдызының жарқырауы деп жұлдыздың шындығында Күннен қанша есе жарық екенін көрсететін шама аталады. Ол үшін жұлдыздың E_* жалпы жарқырауын және Күннің E жарқырауын олардың тиісінше абсолютті жұлдыздық шамалары M және M_{\odot} бойынша салыстырады:

$$L = \frac{E_*}{E}, \text{ немесе } \lg L = 0,4 (M_{\odot} - M).$$

Жұлдыздың температурасы жарығының күші арқылы анықталады. Сол себепті жұлдыздардың температурасы жөнінде айтқанда негізінен жұлдыздың сыртқы қабығының температурасын айтады. Температура – жұлдыз фотосферасының температурасы. Жұлдыздың температурасын анықтағанда, сәуле шығару заңдарын қолданады. Соларға сәйкес анықталған температуралар бір-біріне сәйкес келмейді. Бұл сәуле шығару заңдарының жуық заңдар болатындығының салдары. Сондықтан бұл температураларға әртүрлі атау тағайындап қойды. Жұлдызды абсолют қара дене деп есептеп, Стефан – Больцман заңына сүйеніп, табылған температура *эффективті немесе радиациялық температура* деп аталады.

Стефан-Больцман заңы (бірінші жуықтауда жұлдыздар мүлдем қара дене ретінде сәуле шығарады деп санауға болады) тек бұрыштық диаметрлері белгілі жұлдыздардың тиімді температурасын анықтауға қолданылады. Егер – жұлдыздан (немесе күннен) бір секундта жер атмосферасының шекарасының 1 см^2 алаңына нормаль бойынша түсетін E энергия мөлшері болса, онда доғаның секундтарымен көрсетілген бұрыштық диаметрде тиімді температура болады:

$$T_e = 642,3 \cdot \sqrt[4]{\frac{E}{\sigma \cdot \Delta^2}}$$

мұндағы Стефан-Больцман тұрақтысының мәні Погсон формуласы бойынша күн тұрақтысымен салыстыру арқылы жұлдыз бен Күннің болометрлік шамаларының айырмашылығымен анықталатын энергия мөлшерінің өлшем бірліктеріне байланысты таңдалады (ол шамамен $2 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$). Сондай-ақ тиімді температураны Стефан-Больцман заңын қолдану арқылы анықтауға болады:

$$T_e = \sqrt[4]{\frac{L}{\sigma \cdot 4 \cdot \pi \cdot R^2}}$$

мұндағы, R – жұлдыздың радиусы.

Жұлдыздардың іргелі параметрлерінің мәндері, әдетте, сәйкес шамалардың күн мәндерінің бірліктерінде көрсетіледі; сондықтан келесі қатынас орын алады:

$$L_*/L_{\odot} = R_*^2/R_{\odot}^2 = T_{*e}^4/T_{\odot}^4$$

Олардың спектрлерінде энергияның таралуы белгілі болатын Күннің және жұлдыздардың түстік температурасы Вин заңы бойынша табылуы мүмкін, онда тұрақтының мәні толқын ұзындығының өлшем бірліктерін таңдауға байланысты болады.

Планеталар мен олардың спутниктері шағылған шашыраған күн жарығын шығарады, сондықтан толық фаза кезінде олардың жарқылы мына формула бойынша анықталады:

$$E = kA \frac{d^2}{r^2 \rho^2}$$

мұндағы k – Күнмен жарықтандыруды және өлшем бірлігі жүйесін есепке алатын коэффициент, A – сфералық альбедо, d – сызықтық диаметр, r – гелиоцентрлік қашықтық; ρ – бақылаушыдан қашықтық; барлық қашықтықтар не километрде не астрономиялық бірліктерде өрнектеледі.

Вин заңы бойынша анықталатын температура *түстік температура* деп аталады. Планк заңына сүйеніп, әртүрлі диапазондар үшін табылған температура *жарықтылық температурасы* деп аталады. және т.с.с. .

Бір типті жұлдыздардың әртүрлі сипаттамаларының арасында байланыс болатыны байқалады. Жарықтылық пен жұлдыз

массасының өзара байланысы жуық түрде: $I \sim m^4$ (массалары $0,5m_{\odot} \div 10m_{\odot}$ жұлдыздар үшін). Басты тізбек жұлдыздары үшін жұлдыздардың *жарықтылығы* олардың радиустарымен $I \sim R^{5,2}$ және массаларымен $I = km^{3,9}$ байланысты, радиустары мен массаларының $R \sim m^{0,75}$. Сонымен бірге, температура да массаға тәуелді: $T_e \sim m^{0,6}$ – жұлдыз массасы неғұрлым кем болса, эффективті температурасы соғұрлым аз.

Жұлдыздың сәулелік және толық жылдамдығын анықтау.

Жұлдыздың сәулелік жылдамдығы деп радиус – вектор бойымен бағытталған жылдамдық құраушысын айтады. Сәулелік жылдамдығын анықтау Допплер-Физо принципіне негізделген. Жұлдыздың спектріндегі спектрлік сызықтың ығысуы сәулелік жылдамдығына байланысты пропорционал ығысады.

Жұлдыздың μ меншікті қозғалысы деп жұлдыздың оның Күнге қатысты кеңістіктегі қозғалысынан туындаған аспан сферасы арқылы бір жыл ішінде көрінетін бұрыштық қозғалысы, яғни μ - бір жыл ішінде Күнге қатысты жұлдыздың кеңістіктегі қозғалысының аспан сферасына проекциясы аталады.

Жұлдыздың тангенциальді жылдамдығы V_t – бұл көру сәулесіне перпендикуляр; ол мына формуламен өрнектеледі:

$$V_t = 4.74 \frac{\mu}{\pi} \text{ (км/с)}$$

Кеңістіктегі жұлдыздың толық жылдамдығы мына формуламен анықталады:

$$V = \sqrt{V_t^2 + V_r^2},$$

мұндағы, V_r – сәулелік жылдамдық. Егер V жылдамдығы бізден жұлдызға дейінгі бағытпен кеңістікте ϑ бұрышын құрайтын болса, онда: $V_r = V \cdot \cos \vartheta$ және $V_t = V \cdot \sin \vartheta$.

Жұлдыздардың сызықтық радиустары әрдайым Күн радиусымен өрнектеледі ($R_{\odot} = 1$) және белгілі бұрыштық Δ диаметрлері бар жұлдыздар үшін (доға секундтарында) былай анықталады:

$$R = 107,5 \frac{\Delta}{\pi},$$

бұл ретте $\lg \Delta = 5,444 - 0,2m_b - 2\lg T$, мұнда T – жұлдыздың температурасы (қатаң айтқанда, тиімді, бірақ егер ол белгісіз болса, онда түсті), $m_b = m_V + b$ (b - жұлдыздың спектрлік класы мен жарқырау класына байланысты болометрлік түзету). Жұлдыздардың

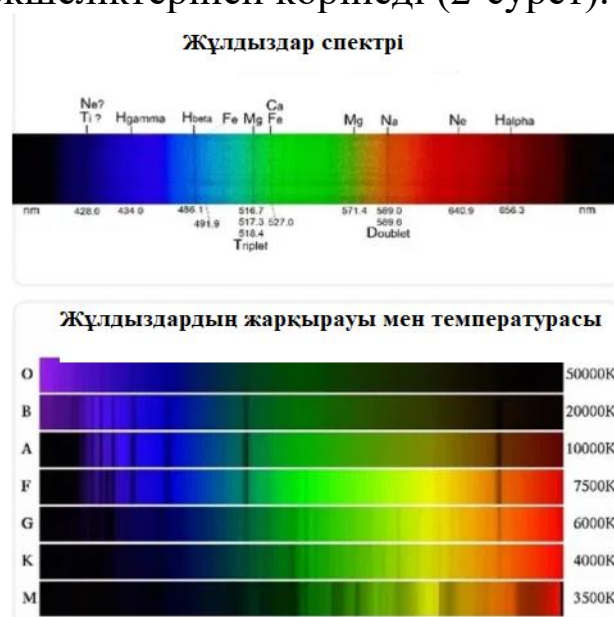
көлемі де Күн көлемдерінде өрнектелетіндіктен, жұлдыздық заттың орташа тығыздығы (жұлдыздың орташа тығыздығы) былай анықталады:

$$\rho = \rho_{\odot} \frac{M}{R^3},$$

мұндағы, ρ_{\odot} - күн затының орташа тығыздығы.

2. Жұлдыздардың спектрлік классификациясы

Жұлдыздарды зерттеу үшін оларды классификациялау, яғни жұлдыз табиғатын ашатын негізгі физикалық принциптерге сүйеніп топ – топқа бөлу қажет. Жұлдыздардың спектрлерін зерттеудің нәтижесінде оларды классификациялау мүмкіндігі туды. Классификациялау жұлдыздардың спектрлерінің айырмашылықтарына, атап айтқанда үздіксіз фонды энергияның бөлінуіне, кейбір сызықтардың күшейіп екіншілердің әлсіреуіне және т.б. ерекшеліктеріне негізделген. Ұқсас спектрлер класқа бірігеді. Кластың ішіндегі аздаған өзгешеліктер оны подкласқа бөлуге негіз болған. Спектрлердің айырмашылығы спектрлік сызықтардың саны мен интенсивтілігінен және үздіксіз спектріндегі энергиясының бөлінуімен сипатталады. Классификация ең алғаш Гарвард обсерваториясында істелінгендіктен, сол обсерваторияның атымен аталған. Жұлдыздардың бірнеше кластары бар, Кластар латын әріптерімен белгіленеді: W–O–B–A–F–G–K–M. Әртүрлі спектрлік класқа жататын жұлдыздардың температурасы әртүрлі, олар спектрінің ерекшеліктерінен көрінеді (2-сурет).



Сурет 2. Жұлдыздардың спектрлік классификациясы және температуралары

1 кестеде және 3 суретте әртүрлі спектрлік типтегі жұлдыздардың түс индекстерінің жуық мәндері берілген.

Кесте 1.

Спектрлік түрі	Спектрдің ерекше белгілері	B -V	Тиімді температура мың К	Түсі
O	Жұтылу сызықтары He ⁺ , He, H және иондалған C, Si, N, O	-0,3	40-28	Көкшіл
B	Бейтарап He сызықтары ең үлкен қарқындылыққа жетеді	-0,2	28-10	Ақ көкшіл реңкпен
A	H сызықтары ең жоғары қарқындылыққа жетеді	0,0	10-7	Ақ
F	H сызықтары әлсірейді, Ca ⁺ және металл сызықтары артады	0,4	7-6	Сары-ақ
G	Металл сызықтары интенсивті: Ca ⁺ , Fe, Ti және т.б.	0,6	6-5	Сары
K	Металл сызықтар өте қарқынды. Молекулярлық жолақтар пайда болады	1,0	5-3,5	Қызғылт сары
M	Молекулярлық қосылыстардың күшті сіңіру жолақтары (әсіресе TiO)	1,5	3,5-2,5	Қызыл
C	C ₂ және оның қосылыстарының CH, CO, CN молекулалық	1,5	-	Қызыл

	сіңіру жолақтары			
S	ZrO сіңіру жолақтары	1,5	-	Қызыл



Сурет 3. Жұлдыздардың спектрлік классы

Мысалы: W– класындағы Вольф-Райе жұлдыздарының спектрінде - He-дің, N_2 немесе C, O_2 жарық эмиссиялық сызығы бар. Жұтылу сызықтары жоқ. Бұл ең ыстық жұлдыздар.

O класындағы жұлдыздар спектрінде – ультракүлгін облысының жоғары интенсивтілігі температурасының жоғарылығын көрсетеді., иондалған He(C, Si, N_2 , O_2), H_2 , бейтарап He және H– әлсіз сызықтар көрінеді. Жұлдыз түсі күлгін болады!

B – класындағы жұлдыздарының бейтарап He сызықтары интенсивті болады, H_2 мен кейбір иондалған элементтердің сызықтары жақсы көрінеді. Түсі ашық күлгін болады және т.с.с. ерекшеліктері бар!

A – класындағы жұлдыздарының H_2 сызықтары максималды (Бальмер сериясы), иондалған Ca, металдар сызықтары көрінеді. Түсі ақ болады.

F – класындағы жұлдыздарының H_2 сызықтары әлсіз, Ca, Fe, Ti сызықтары күшейеді, түсі ақшыл–сарғыш болады.

G – класындағы жұлдыздарының H_2 сызықтары өте әлсіз, иондалған Ca сызықтары интенсивті, түсі сары болады.

K – класындағы жұлдыздарының H_2 сызықтары байқалмайды, металдар сызықтары көп, спектрдің күлгін жағы әлсіретілген, түсі қызғылт болады.

M – класындағы жұлдыздарының металдар сызықтары әлсіреген, TiO жұтылу жолақтары байқалады, молекулалық жұтылу жолақтары, түсі қызыл болады.

R – класындағы жұлдыздарының C (көміртек) сызықтары байқалады, сондықтан оларды көміртекті жұлдыздар деп атайды

N – класындағы жұлдыздарының C (көміртек) молекулаларының сызықтары байқалады.

S – класындағы жұлдыздарының TiO сызықтарының орнына

ZrO (цирконий) сызықтары байқалады, сондықтан оларды цирконийлі жұлдыздар деп атайды.

Әрбір класс, кейбір белгілері бойынша, 10 подклассқа бөлінеді: Оның номері 0, 1, 2, ..., 9 цифрлер түрінде кластың белгісінен кейін қойылады. Мысалы: B8, F0, G5. Күн G2 подклассына жатқызылады.

Егер жұлдыздың спектрлері жарық эмиссия сызықтар болса, спектрлік класына «e» әрпі қосылады, мысалы: B5e. Басқа спектрлік өзгешеліктер (жоғарыдағы класқа жатпайтындар) p әріппен (пекулярлық), мысалы: A5p.

Жұлдыздардың температуралары спектрлерін анықтайды. Кейін анықталғаны: спектрлерінің пайда болатын аймақтарындағы газ қысымының да әсері бар екен. Тығыздығы аз және газ қысымы төмен болса, сызықтар жіңішке және анық болады. Бұндай жұлдыздар асқын алып жұлдыз болып келеді. Олар спектрлеріндегі жіңішке сызықтармен бөлінеді, оның белгісі с әрпі, мысалы: cF0.

Жұтылу сызықтарының кейбірінің интенсивтігі бойынша жұлдыздың жарқырауы туралы пікір айтуға болады, яғни бұл жұлдыз алып жұлдыз ба әлде ергежейлі жұлдыз ба? Онда бірінші жағдайда жұлдыз класының алдына g белгісі (алып деген мағынада), ал екінші жағдайда жұлдыз класының алдына d белгісі (ергежейлі деген мағынада) қойылады. мысалы: gK0, dM2.

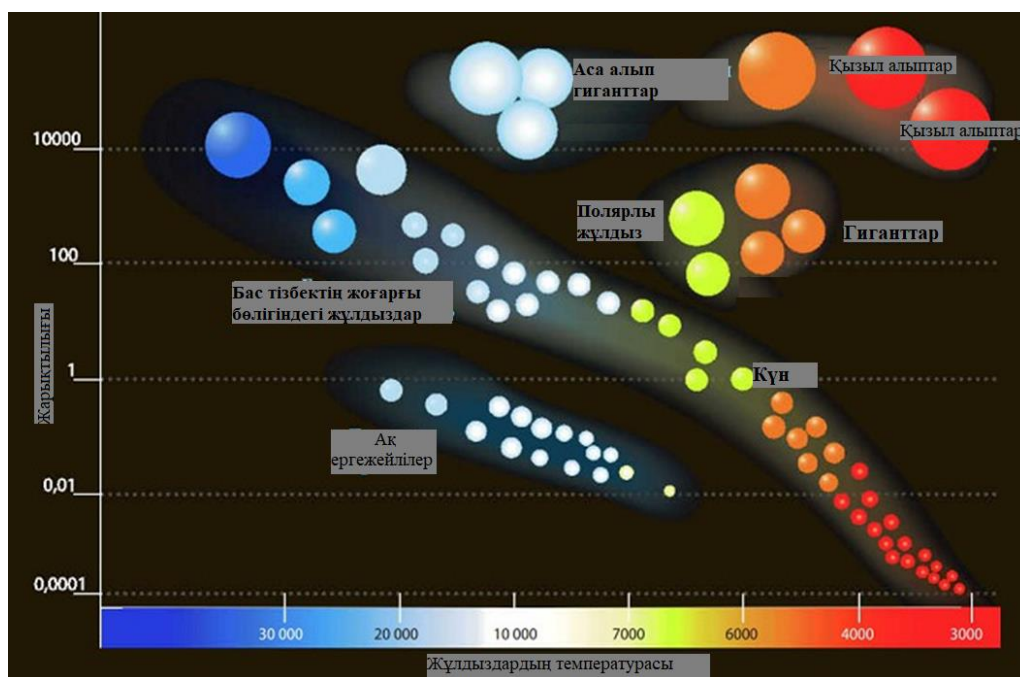
Кейбір себептер (өз осінен айналуы және т.б.) спектрлік сызықтардың жуандауына немесе анық болмауына әкеледі. Соған байланысты қосымша белгілер: «n»–диффуздық сызықтар мен «s»–анық сызықтар жұлдыз класының қасына жазылады.

Онда жұлдыздардың абсолюттік шамалары мен спектрлік кластардың өзара байланысы Герцшпрунг Рессел диаграммасымен беріледі. Герцшпрунг – Рессел диаграммасы (4-сурет) арқылы олардың температураларымен салыстыру жүргізіледі. Жұлдыздарды соған сәйкес 3 топқа бөледі: *бас тізбек жұлдыздары, қызыл алып жұлдыздар және ергежейлі жұлдыздар*. Бас тізбек жұлдыздарына жұлдыздардың басым көпшілігі жатады. Қызыл алып жұлдыздар жарқырауының жоғарылығымен, сәуле шығаратын ауданның үлкендігімен және заттың тығыздығының төмендігімен сипатталады. Ергежейлі жұлдыздар төменгі жарқырауымен, көлемнің кішілігімен, тығыздығының жоғарылығымен сипатталады. Мысалы: ақ ергежейлілердің орташа тығыздығы Күннің орташа тығыздығынан 300 000 есе жоғары болатын сияқты. Кейбір қызыл алыптардың жарқырауы ақ ергежейлілердікінен 5-10 мың есе үлкен

болады. Спектр – жарықтық диаграммасын жұлдыздардың класқа бөлінуінің графикалық бейнеленуі деп айтуға болады.

O, B класының жұлдыздарының өз остерінен айналу жылдамдықтары жоғары. Бетіндегі бөлшектердің жанама жылдамдықтары 500 км/с – ке жетуі мүмкін, ал, мысалы, Күнде - 2 км/с.

Бұл жұлдыз түрлерінің әлемде таралуы бірдей емес. Күн маңында 1 асқын алыпқа – 1000 қызыл алып – 10^6 ақ ергежейлі – $10 \cdot 10^6$ басты тізбек жұлдыздары сәйкес келеді.



Сурет 4. Герцшпрунг –Рессел диаграммасы

Герцшпрунг – Рессел диаграммасы, сонымен бірге, жұлдыздардың даму сатыларына нұсқау береді. Жұлдыз басты тізбек жұлдыздарынан бастап дамып - қызыл алыпқа одан - ақ ергежейліге немесе қара құрдымға айналады.

Бас тізбек жұлдыздары үшін жарықтылығының радиусқа тәуелділігі: $L=k R^{5/2}$ және жарықтылығының массаға тәуелділігі: $L=f m^{3,9}$ теңдеулер түрінде беріледі.

3. Жұлдыздардың ішкі құрылымы

Жұлдыздардың сипаттамалары әртүрлі болатынын көрдік. Жұлдыздардың бірнеше түрлерінің болуы, олардың ішкі аймақтарындағы процестерінің әртүрлі болу мүмкін болатындығын көрсетеді. Осы процестердің заңдылықтары жұлдыз қойнауларындағы физикалық жағдайларға байланысты. Сондықтан

жұлдыздағы процестің түрін табу үшін физикалық талдау жасау керек. Осындай талдау шындыққа жақын болса, онда бұндай талдау жұлдыздардың айырмашылықтарын түсіндіруі тиіс. Бұндай талдау нәтижесі жұлдыздың ішкі құрылымы жөніндегі теориямен аяқталуы тиіс. Бұл теория сол заманғы алдыңғы қатарлы физикалық теорияға сүйенуі керек. Бұндай теория қайшылықсыз болуы тиіс.

Жұлдыздардың ішкі құрылымы жұлдыздың қандай түрге жататынына байланысты. Бірақ оларды біріктіретін ортақ белгілері бар! Бірінші, және ең бастысы - жұлдыздың басқа объектілерден негізгі ерекшелігі: ол өздігінен жарық энергиясын өндіреді, яғни оларда өте қуатты энергия көздері бар. XIX ғасырдағы астрономдарда бұл энергия көздері – химиялық реакциялар болатын шығар деген болжам болатын (авторы - Томсон-Кельвин). Ол кезде физикада *ядролық реакция* деген ұғым мүлдем болмаған. Өйткені атомның ішкі құрылымы ол кезде зерттелмеген болатын. Атом заттың ең ұсақ бөлінбейтін бөлшегі деп есептелінді (Атом – «а» «томос» - бөлінбейтін бөлшек, грекше, яғни заттың құрамындағы ең кіші бөлшек). Атомның құрамындағы электрон бар деген бөлшек ұғымы XIX ғасырдың аяғында ғана табылды (электрондық сәулелер). XX ғасырдың басында физикалық тәжірибелерден атомның ядросы ұғымы қалыптасты (Резерфорд тәжірибелері), ядроның құрамындағы протон, нейтрон (1932 ж) сияқты бөлшектер ұғымдары пайда болады. Ал атом ядросының бөліну реакциясының мүмкіндігі 2-дүниежүзілік соғыстың алдында ғана дәлелденді болды. Сол кезге дейін, қандайда болмасын химиялық реакциялар, жұлдыздың энергия көзі болуы мүмкін еместігі анық болды. *Ядролық жарылыс реакциясының* қуаттылығы анық болғанда ғана ол жұлдыздың энергиясы көзі болуы мүмкін деген болжам сол кезде пайда болды.

Екінші мәселе: ядролық реакция өте жоғары температура мен өте жоғары қысымда өтетін болса, бұл реакцияларға ыңғайлы жағдайлар жұлдыз центрінде пайда болады. Ал ядролық реакциялар нәтижесінде бөлініп шыққан энергияны жұлдыздың сыртқы қабаттарына жеткізу механизмі қандай? Бұл механизмдер белгілі болды: бұл - *конвекция, сәуле түрінде тасымалдану және жылуөткізгіштік* болуы мүмкін екендігі анық болды. Осы процестер сол кезге дейін зерттелініп, шарттары, заңдылықтары анықталды. Сондықтан жұлдыздың ішкі процестер моделдерін құру мүмкін болды. Күн тәрізді жұлдыздарда ядролық реакциялар

зонасының сыртында *сәуле түрінде тасымалдану* зонасы, оның сыртында *конвекциялық зона* орналасады. Ең сыртында – фотосфера орналасады. Көгілдір алып жұлдыздарда- ядролық реакциялар зонасының сыртында *конвекциялық зона*, оның сыртында *сәуле түрінде тасымалдану* зонасы орналасады. Ең сыртында – фотосфера орналасады. Осындай моделдер жұлдыздардағы процестерді дұрыс түсінуге көмек қылады.

4. Қос жұлдыз жүйелері

Қос жұлдыз деп жақын орналасқан екі жұлдызды айтады. Қос жұлдыздар *оптикалық -қос* және *физикалық - қос* деп бөлінеді. Оптикалық-қос жұлдыздар бір-біріне жақын болып көрінгенімен, бір-бірімен байланыспаған, бақылаушыдан әртүрлі қашықтықтарда орналасқан жұлдыздар. Яғни бұл жұлдыздар бақылаушы көзінен ойша сызылған бір түзуге өте жақын орналасқан, бірақ бір – бірімен динамикалық әсерлесетін жүйе құрамайды.

Физикалық - қос жұлдыздар бір-бірімен әсерлесетін динамикалық байланысқан жүйе құрайды. Олар өзара тартылыс күштері салдарынан ортақ массалар центрін айналып жүреді. Жұлдыздардың кейбіреулері анықтап қарағанда не қос жұлдыз жүйесі немесе екеуден артық (3-,4- немесе одан да көп) еселі жұлдыздар жүйесін құрайды. Кейде өзара әсерлесетін екі алып масса жүйесінің 1- сыңары жарық жұлдыз, ал 2-сыңары жарықты өте аз шығаратындықтан, көрінбеуі мүмкін. Көрінетін сыңарының қозғалысы сырт қарағанда күрделі болып көрінеді. Осындай жұлдыз топтары *физикалық- қос* немесе *физикалық-еселі* жұлдыздар болып табылады. Мысалы, Кастор сыңарларының қашықтығы 100 а.б., айналу периоды 500 млн жыл. Оның әрбір сыңары- қос жұлдыз жүйесі, айналу периодтары: 9,2 және 2,9 тәулік, арақашықтықтары: 0,03а.б., кейін сыңарлардың үшінші серігі табылды, 1000 а.б. қашықтықта, ол да қос жұлдыз жүйесі болып шықты, периоды: 19 сағат, арақашықтығы 0,018 а.б.. Ол алдыңғы айтылған екі сыңарын айналып тұрады.

Жұлдыздардың қос екендігін анықтау әдісіне байланысты жұлдыздар *визуальді-қос*, *тұтылмалы-қос* және *спектрлік-қос* болып 3–ке бөлінеді.

а) Визуальді қос жұлдыздар (яғни көзбен немесе телескоппен бақылау арқылы ажыратылатын жұлдыздар). Әрбір сыңары эллипс бойымен қозғалады. Периодтары бірнеше жылдан, бірнеше

мыңдаған жылдар болады. Компоненттерінің арақашықтығы ρ'' болса, онда сызықтық қашықтық $d = \rho'' / \pi''$.

Қосарлығы тек телескоп арқылы анықтайтын қос жұлдыздарды - визуалды қос жұлдыздар деп атайды. Серік жұлдыздың бас жұлдызға қатысты көрінетін орбитасын ұзақ уақыт бақылаулар арқылы анықталады. Бұл орбиталар эллипс пішінді келеді.

Визуалды қос жұлдыздың көрінетін орбитасы оның шын орбитасының жазықтыққа проекциясы болып табылады. Сондықтан орбитаның барлық элементтерін анықтау үшін ең алдымен еңкею бұрышын білу керек. Бұл бұрышты жұлдыздардың еңкеюін бұрышы көрінгенде ғана анықтауға болады. Егер еңкею бұрышы, периастр бойлығы болса, онда бұл элементтерді анықтау геометриялық есеп болып табылады. Қазіргі кезде алпыс мыңнан аса визуалды қос жұлдыздар тіркелген. Бұлардың шамамен екі мың орбиталарының қозғалыстары анықталған.

б) Тұтылмалы қос жұлдыздар (яғни периодты түрде тұтылып көрініп тұратын жұлдыздар). Кейбір жұлдыздар периодты белгісіз үлкен денемен тұтылып тұрады. Бұндай жұлдыздарды *тұтылмалы қос жұлдыз*, немесе *фотометрлік қос жұлдыз* деп, кейде жиі Алголь типті деп атайды. Жылтырлығының өзгеру периоды 27 жылдан бірнеше сағатқа дейін болады.

в) Спектрлік қос жұлдыздар. Кейбір жұлдыздардың спектрінде сызықтар периодты түрде орны өзгеріп тұрады. Қос жұлдыздар жүйесіне жатқызудың ең негізгі белгісі – осы. Бұндай жүйе *спектрлік қос жұлдыз* деп аталады. (Тек қана спектрінің өзгешеліктері арқылы айырылатын қос жұлдыздар, – спектрі периодты түрде өзгеріп тұрады).

Қос жұлдыздарды зерттегеннің бір құнды жағы: қос жұлдыздардың периодтарын зерттеу арқылы олардың массаларын және т.б. сипаттамаларын анықтау мүмкіндігі туады. Бұл үшін бұндай жүйелерге Кеплердің жалпылама түрдегі 3-заңын қолданып, екі жұлдыздың ортақ массалар центрін айналу периодтарын, ара қашықтықтарын өлшеп, жазатынымыз:

$$M_1 + M_2 = \frac{4\pi^2}{k^2} \frac{a^3}{T^2}$$

Дәл сондай қатынасты Күн мен Жер үшін де жазуға болады:

$$M_{\odot} + M_{\oplus} = \frac{4\pi^2}{k^2} \frac{a_{\oplus}^3}{T_{\oplus}^2}$$

Екі теңдікті бір-біріне мүшелеп бөлейік, $M_O \gg M_{\oplus}$ екенін ескеріп,

$$\frac{M_1 + M_2}{M_O} = \frac{a^3 T_{\oplus}^2}{a_{\oplus}^3 T^2}$$

a_{\oplus} - бір астрономиялық бірлік, a -жұлдыз серігінің орбитасының үлкен жарты осі, T_{\oplus} - 1 жыл, T – жұлдыз серігінің айналу периоды. Сонда $a_{\oplus}, T_{\oplus}, M_{\oplus}$ шамаларын бірлік етіп алып, табатынымыз:

$$M_1 + M_2 = \frac{a^3}{T^2}$$

$$\frac{a}{a_{\oplus}} = \frac{\rho''}{\pi''}$$

ρ'' –жұлдыздың орбитасының a жарты осінің Жерден көріну бұрышы

π'' – жылдық параллакс, яғни жұлдыздан Жер орбитасының көріну бұрышы

$$a = \rho'' / \pi''$$

Осы қатынастарды ықшамдасақ:

$$M_1 + M_2 = \frac{\rho''^3}{\pi''^3 T^2}$$

Осы формула арқылы сыңар-жұлдыздардың бұрыштық қашықтығын, периодын өлшеу арқылы жұлдыздардың массаларын есептеп табуға болады. Жұлдыз сыңарлардың әрқайсысының массасын анықтау үшін жұлдыздардың ортақ ауырлық күші мен қашықтығының қатынасын өлшеу керек.

5. Жұлдыздар құрылымы және жұлдыздар қойнауындағы физикалық күйлер

а) Бас тізбектің жоғарғы бөлігіндегі жұлдыздары

Бұл - массасы Күн массасынан үлкен жұлдыздар. Олардағы температура мен қысым кейінгі спектрлік класс жұлдыздарына қарағанда жоғары және термоядролық энергия бөлінуі көміртегі циклы арқылы жылдам жүреді.

ә) Бас тізбектің төменгі бөлігіндегі жұлдыздар

Бұл жұлдыздар Күнге ұқсас. Прогон-протондық реакция нәтижесінде бөлінетін энергияның қуаты температураға тәуелді. Бұл жұлдыздарда сыртқы конвективтік қабаттар пайда болады. Жұлдыз

суық болған сайын қабат тереңдігі жоғары болады. Егер Күннің 2%-ке ғана конвекция қабаттары болса, ал массасы 0,6 масса ергежейлілерде аралада бүкіл массаның 10%-ы қатысады.

б) Субергежейлілерде ауыр элементтер аз

Субергежейлілер - кәрі жұлдыздар, олар Галактика дамуының ертеректегі кезеңдерінде пайда болған. Ауыр элементтер аз болған себепті субергежейлердің заты бас тізбектегі жұлдыздармен салыстырғанда мөлдір, ондағы сәулелік энергия тасымалдануы жеңіл келеді.

в) Қызыл алыптардың құрылымы біртекті.

Жұлдыздың орталық қабаттарындағы сутегінің қызуына байланысты энергияның бөлінуі перифериялық қабаттарға ғана ығысады. Нәтижеде энергия бөлінетін жұқа қабат пайда болады. Бұл қабатта сутегілік реакция жүреді. Бұл қабат жұлдызды бөлікке бөледі: ішкі - мұнда сутегісі жоқ «гелийлік» ядро (ядролық реакция жоқ) және сыртқы - мұнда сутегі бар, бірақ температура мен қысым реакция жүруіне жеткіліксіз. Алғашқыда, энергия шығаратын қабаттағы қысым ядроғадан көп - сондықтан ол сығыла, гравитациялық энергияны бөліп қыза бастайды. Бұл қысым газ тозғындалғанша жүреді.

г) Ақ ергежейлілер

Г - Р диаграммада бұл объект төменгі сол жақ бұрышта орналасуы тиіс, себебі өлшемдерінің аздығынан температураның жоғарғы мәнінің өзінде де оның жарықтылығы аз. Ақ ергежейлердің массасы өскен сайын оның қойнауындағы газ қысымы гравитациялық күшке қарсы төтеп бере алады. Сондықтан массасы үлкен ақ ергежейлер көбірек сығылады және олар үшін жұлдыз радиусының оның массасынан тәуелділігі дәлірек орындалады.

д) Нейтронды жұлдыздар

Массаның қандайда бір мәнінен кейін тозғындалған газдың қысымы гравитация күшін теңгере алмайды. Мұндай жұлдыз шексіз сызыла береді (коллапс). Егер масса 2-3 m асып түссе, онда жұлдыз коллапсқа ұшырайды. Егерде жұлдыз нейтронды болмаса, бұл құбылыс $m > 1,2 m$ жағдайында болар еді. Себебі гравитация күштеріне тозғындалған нейтронды «газдың» қысымы қарсы тұрады. Бірақ бұған дейін жұлдызда ядролық жарылыс түзеді, нәтижесінде бүкіл ядролық энергиямен зат нейтрондарға айналады да жаңа объект нейтронды жұлдыз пайда болады. Бұл жұлдыздардың беті болады. Себебі оның сыртқы қабаттары қатты келеді және темір

мен гелийдің ауыр элементтерінен құралады. Кәдімгі жұлдыз нейтрондық күйге дейін сығылғанда оның магнит өрісінің кернеулігі 10 бірлікке дейін өседі. Бұл кернеулік атомдар пішіндегіден 1000-даған есе көп. Нәтижесі нейтронды жұлдыздың қатты қабатының шекарасында атомдық құрылым өзгереді. 10 К температурада да нейтронды жұлдыздың бетінде атомдар бейтараптығын жоғалтпайды.

е) Қара құрдымдар

Күн массасынан бірнеше көп есе массада тозғындалған нейтрондардың қысымы гравитациялық күштерге төтеп бере алмайды және жұлдыздың қайтымсыз сығылуына еш нәрсе бөгет келтіре алмайды (коллапс). Коллапстанушы жұлдыздың радиусы қандайда бір кризистік радиусқа (R) жақындағанда ерекше жағдай орындалады, R былайша анықталады. $R=2c^2/m/g$. Радиусы гравитациялық радиустан аз жұлдыздан жарық сәулелері шықпайды. Мұндай объект физика заңдарына сәйкес өмір сүру керек деп есептегенімен, ол байқалмайды.

Он үшінші дәріс бойынша бақылау сұрақтары:

1. Жұлдыздардың табиғатын зерттеу әдістері атаңыз.
2. Жұлдыздардың спектрлік классификациясы атаңыз.
3. Жұлдыздардың ішкі құрылымы түсіндіріңіз.
4. Жұлдыздар құрылымы және жұлдыздар қойнауындағы физикалық күйлерді атаңыз.
5. Жұлдыздар космос затының %-ын құрайды?
6. Жұлдыздардың табиғатын зерттеу үшін қандай әдістер жүргізу қажет?
7. Жұлдыздарға дейінгі қашықтықты анықтау үшін қандай әдістер қолданамыз.
8. Парсек, параллакс, жарық жылы – қандай шамалар?
9. Жұлдыздық шама деп қандай шаманы айтамыз?
10. Абсолютті жұлдыздық шама деп қандай шаманы айтамыз?
11. Погсон формуласын қандай шамаларды анықтаймыз?
12. Жұлдызының жарқырауы туралы анықтаманы айтыңыз.
13. Әр түрлі спектрдағы жұлдыздың температурасы туралы ақпарат дайындаңыз.
14. Жарықтылық температурасы деп қандай температураны айтамыз.
15. Герцшпрунг – Рассел диаграммасын түсіндіріңіз.

16. Жұлдыздардың қос екендігін анықтау әдістерін айтыңыз.
17. Визуальді қос жұлдыздар деген қандай жұлдыздар?
18. Тұтылмалы қос жұлдыздар деген қандай жұлдыздар?
19. Спектрлік қос жұлдыздар деген қандай жұлдыздар?
20. Бас тізбектің жоғарғы бөлігіндегі жұлдыздарды атаңыз.
21. Субергежейлілерде ауыр элементтер аз жұлдыздарды атаңыз.
22. Қызыл алыптарды атаңыз.
23. Ақ ергежейлі жұлдыздарды атаңыз.
24. Нейтронды жұлдыздарды атаңыз.
25. Қара құрдымдар туралы ақпарат дайындаңыз.

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі:

1. Кононович Э. В., Мороз В. И. Общий курс астрономии: Учебное пособие / Под ред. В. В. Иванова. Изд. 2-е, испр. - М.: Едиториал УРСС, 2004. - 544 с. ISBN 5-354-00866-2
2. Кенжалиев Д. И. Астрономия: Жоғарғы оқу орындарының студенттеріне арналған оқу құралы. – Алматы: Эверо, 2020. – 416 б. ISBN 978-601-240-246-9
3. Жаңабаев З.Ж., Наурызбаева А.Ж., Ізтілеуов Н.Т. Жалпы астрономия: Жоғарғы оқу орындарының студенттеріне арналған оқу құралы. – Алматы: Қазақ университеті, 2010. – 184 б. ISBN 9965-30-995-7
4. Телегина О.С. Астрономия. / Учебно-методическое пособие для практикума. – Костанай: КГПУ им. У. Султангазина, 2018. – 148с.