

## Дәріс 10. Күн жүйесіндегі қашықтықтармен аспан денелерінің өлшемдерін анықтау

### Дәріс жоспары

1. Күн жүйесіндегі қашықтықтар.
2. Күн жүйесі денелерінің өлшемдерін анықтау
3. Жұлдыздар аберрациясы және жылдық параллакс

### 1. Күн жүйесіндегі қашықтықтар.

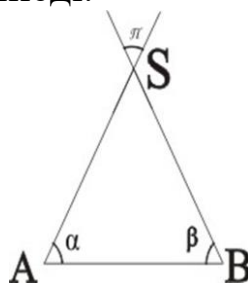
Күн жүйесі денелеріне дейінгі қашықтықты анықтаудың екі әдісі белгілі:

1. Тригонометриялық әдіс - шырақтың горизонттық экваторлық параллаксін өлшеуге негізделген.

2. Радиолокациялық әдіс - ғаламшарға қуатты электромагниттік толқын жіберіліп, ғаламшарға барып қайту уақыты өлшенеді.

$$\Delta = \frac{ct}{2}$$

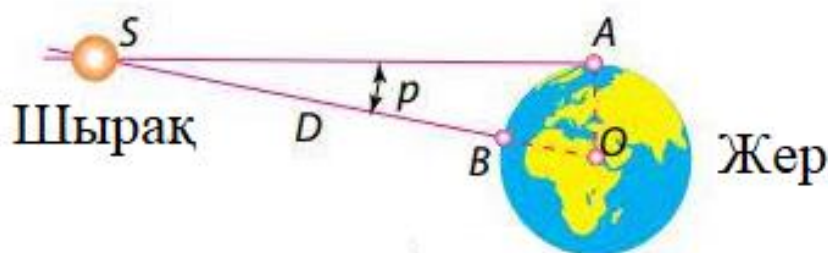
Аспан денелеріне дейінгі қашықтықты анықтаудың тригонометриялық әдісі триангуляция әдісіне ұқсайды. Мысалы, Жер бетіндегі үлкен қашықтықтарды өлшеу әдісін қарастырайық. А нүктесінен алыстағы S нүктесіне дейінгі қашықтықты анықтау үшін АВ базисінің ұзындығы өлшеніп, бұл нүктелердегі  $\alpha$  және  $\beta$  бұрыштары өлшенеді (1-сурет). Бақылаушы А нүктесінен В нүктесіне көшкенде S денесі де оның аржағындағы денелер фонында орны өзгертіндей болып көрінеді.



Сурет 1. Жер бетіндегі үлкен қашықтықтарды өлшеудегі Параллакс ұғымы

Бұл ығысу берілген АВ базисі үшін  $\pi$  бұрышына тең.  $\pi$  - АВ базисі үшін *параллакс* деп аталады. АВ базисі мен параллакс берілген болса, онда S денесіне дейінгі қашықтық оңай табылады.

Жер бетіндегі бір нүктеден кез келген  $S'$  шыраққа және Жер центрінен жүргізілген бағыттардың арасындағы бұрыш ( $p$ )-*тәуліктік параллакс* деп аталады (2-сурет).



Сурет 2. Тәуліктік және горизонттық параллакс

Ол тәулік бойы өзгерісте болады. Шырақ горизонттан көрінген кезде параллакс ең үлкен мәнге ие болады және *горизонттық параллакс* ( $P_0$ ) деп аталады.

Шырақтың горизонттық параллаксын табу үшін, бақылаушыға  $S_1$  шырақтың  $z$  зениттік қашықтығы белгілі болуы керек. Үшбұрыштарынан синустар теоремасына сәйкес:

$$\frac{\sin P}{\sin(180^\circ - z)} = \frac{R}{\Delta}$$

және

$$\frac{\sin P_0}{\sin 90^\circ} = \frac{R}{\Delta};$$

бұдан:

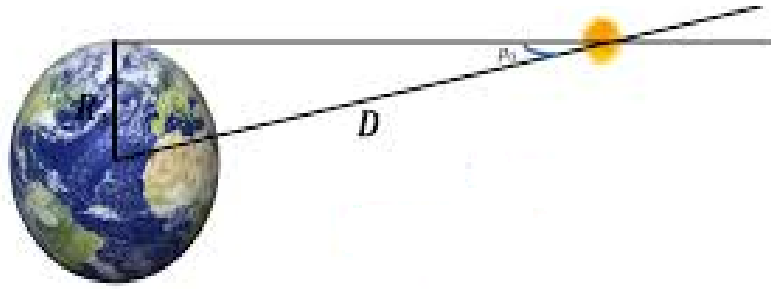
$$\sin P_0 = \frac{\sin P}{\sin z}$$

$R$  мен  $P_0$  шамаларын анықтап аспан денесіне дейінгі қашықтықты анықтауға болады. Күн жүйесі денелерінің Айдан басқасының параллакс секундпен өлшенеді, сол себепті жуықтап:

$$\pi = \frac{P}{\sin z}$$

$$\Delta = \frac{R}{P_0(rad)} = (1rad = 206265'') = \frac{206265''}{P_0''} R$$

Ай параллакс:  $\pi_c = 57'2'',70$ , яғни Жерден қашықтықты 384400 км немесе  $60 R_\oplus$ . Айдың Жерден қашықтығын ең алғаш ертеде грек астрономы Аристарх ұсынған әдіс бойынша Гиппарх тапқан болатын ( $59 R_\oplus$ ).



Сурет 2. Қашықтықтарды анықтаудың параллактік әдісі.

Бірінші әдісті 2- суретке қарап түсінуге болады:  $\angle TOS$  - тік бұрыш болғандықтан,

$$\Delta = \frac{R_3}{\sin P_0}$$

$P_0$  - экваторлық параллакс -

$$\sin P_0 = P_0'' \sin 1'' = \frac{P_0''}{206265''};$$

$$\Delta = \frac{206265'' R_0}{P_0''}$$

Мұнда горизонттық параллакс бұрышының аз екендігін ескеріп,  $\sin 1'' = 1/206265''$  алмастырдық. Сонымен ғаламшарға дейінгі қашықтықты анықтау үшін, оны екі қалыптан бақылау қажет. Шырақ аспан меридианының бойында және горизонттың бойында тұрғандағы қалыптарын анықтау арқылы екі бағыттың арасындағы бұрышты анықтау керек. Екі бақылауды бір мезетте істеу керек. Жердің экваторлық радиусы басқа радиустардан үлкен болғандықтан, оның мәніне шағып есептелген параллактік бұрыш *горизонттық экваторлық параллакс* деп аталады. Сонымен, тригонометриялық әдістің негізгі идеясы: шырақтың горизонттық экваторлық параллаксын анықтау болып табылады. Осы кезде тригонометриялық әдіс алыс ғаламшарлардың, астероидтардың, кометалардың қашықтықтарын анықтау үшін қолданылады.

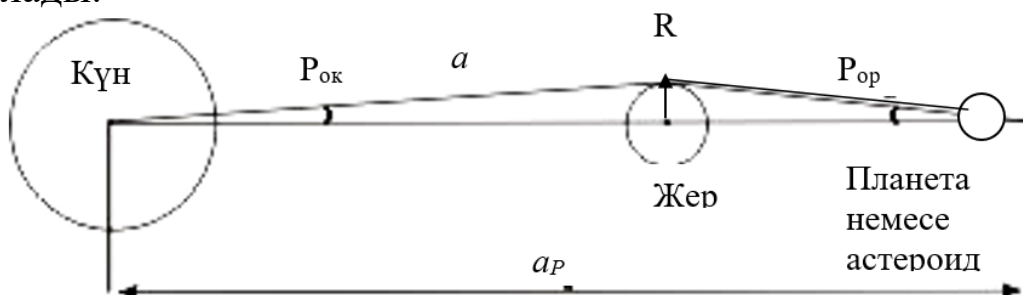
Сонымен, горизонттық экваторлық параллакс дегеніміз аспан денесінен өлшенген Жердің бұрыштық радиусы болып табылады. Ғаламшараралық қашықтықтарды өлшегенде бірлік етіп метрлік жүйені пайдалану ыңғайсыз, Жердің радиусы да бұндай қашықтықтарды өлшеу үшін өте кішкентай болып тұр. Бұл орайда ыңғайлы ұзындық бірлігі: Жердің Күннен орташа қашықтығы болып табылады. Бұл ұзындық бірлігі астрономиялық бірлік (а.б.) деп аталады.

Радиолокациялық әдіс жақын орналасқан денелерге дейінгі қашықтықтарды анықтау үшін қолданылады. 1946 жылдан Айға, 1957-63 жж. Күнге, Меркурийге, Шолпанға, Марсқа, Юпитерге радиоимпульстер жіберіледі. Сигналдың шығар моменті  $t_1$ , және қайту моменті  $t_2$  өте жоғары дәлдікпен өлшенеді, ( $10^{-6}$  с). Сонда сигналдың зерттелінетін денеге барып жетуіне және шағылған сигналдың қайтып келуіне бірдей уақыт аралығы кетеді деп есептеп,

$$\Delta = \frac{c(t_2 - t_1)}{2},$$

- формуласын пайдаланып, аспан денесіне дейінгі қашықтықты өлшеуге болады.  $c$  - вакуумде радиотолқындардын жылдамдығы ( $c = 299792,5$  км/с).

Астрономиялық бірлікті өлшеу үшін Күн радиолокациясы тиімсіз, өйткені радиосәуленің Күн атмосферасының қай қабатынан шағылатыны белгісіз. Күнді бақылайтын қондырғылар тез қызып, қате көрсеткіштер бере бастайды. Сондықтан, бұндай зерттеулер жүргізілгеннің өзінде де, нәтиженің қаншалықты дұрыс екендігіне күмән туады. Аристарх пен Гиппарх Күнге дейінгі қашықтықты өлшеп көрген. Бұл нәтиже қазіргі қабылданған мәнінен 20 есе кіші. XVII ғасырда Кассини бұл қашықтықты Марс параллаксі бойынша тапты. Күнге дейінгі қашықтықты анықтау Күн жүйесіндегі басқа өлшемдерін анықтау үшін де маңызды. Қазіргі қабылданған мәндер Күнге жақын келген ғаламшардың параллаксын өлшеу арқылы табылады.



Сурет 3. Астрономиялық бірліктің мәнін және Күн параллаксіні анықтау

Осы әдісті талдап қарастырайық (3-сурет):  $P_{ор}$  – ғаламшардың,  $P_{ок}$  – Күннің параллакстары,  $a$  – Жердің Күннен қашықтығы,  $a_p$  – ғаламшардың Күннен қашықтығы.  $R$  - Жер радиусы.

$\sin P_{ок} \approx P_{ок} = \frac{R}{a}$  ; бірақ  $\sin P_{ор} = \frac{R}{a_p - a} \approx P_{ор}$  екенін ескерсек ;

$$P_{ок} = P_{ор} \frac{a_p - a}{a} = P_{ор} \left( \frac{a_p}{a} - 1 \right)$$

Кеплердің 3 заңына  $\left(\frac{a_p}{a}\right)^3 = \left(\frac{T_p}{T}\right)^2$  сүйеніп, табатынымыз:

$$P_{ок} = P_{ор} \left[ \left( \frac{T_p}{T} \right)^{\frac{2}{3}} - 1 \right]$$

Сөйтіп, Күнге қатысты қандай да бір ғаламшардың немесе астероидтың қозғалысының сипаттамаларын анықтай отырып, Жердің Күнге дейінгі қашықтығын анықтауға болады. Соның бірі: Эрос 1930-31 жылдары Жерге жақындап келді Бұл кезде өлшенген параллакс  $P_{ок}=8'',790 \pm 0'',001$ . (Эрос (немесе Эрот) астероиды 1898 ж табылған. Ерекшелігі 37 жыл сайын қарама-қарсы тұруы кезінде Жерге өте жақын келеді. Әсіресе ұлы қарама-қарсы тұрулары кезінде Марспен салыстырғанда Жерге 2,5 есе жақын келетін көрінеді. 1931 жылы оның Жерден ең жақын қашықтығы 0,15 а.б., ал параллакс 60'' болған). Астрономиялық бірлікті ең дәл анықтаулар: СССР мен АҚШ-та - Меркурий, Шолпан мен Марс радиолокациясы арқылы жасалды. 1976 жылдан Халықаралық астрономдар Одағы астрономиялық бірліктің мәнін  $a_0=149597870 \pm 10$  км деп бекітті. Ал Күн параллакс  $P_{ок}=8'',794$  тең деп есептеледі. Астрономиялық бірлік (а.б.) – Жердің Күннен орташа қашықтығы.

Күн жүйесіндегі денелеріне дейінгі қашықтықтар астрономиялық бірліктермен өлшенеді.

Осы әдіс жұлдыздарға дейінгі қашықтарды анықтау үшін де қолданылады. Бірақ негіз болып Жер радиусы қабылдана алмайды, бұл өте кіші шама болып табылады. Бұндай қашықтықтарды анықтау үшін негіз болып Жердің орбитасының орташа радиусы, яғни астрономиялық бірлік  $a$  – алынады.  $\pi$  - Күн центрінен және Жер орбитасынан жұлдызға жүргізілген жүргізілген бағыттардың арасындағы бұрыштың ең үлкен мәні. Бұл бұрыш жылдық параллакс деп аталады, немесе Жер орбитасының орташа радиусының жұлдыздан өлшегендігі бұрыштық өлшемі болып табылады.

3- суреттен:

$$\Delta = \frac{a}{\sin \pi} = \frac{206265'' a}{\pi''}$$

Жұлдыздарға дейін қашықтықтарды анықтағанда - жылдық параллакс шамасы қолданылады. Осыдан шыққан жұлдыздарға дейінгі қашықтықтың өлшем бірлігі – парсек (қысқартылған «параллакс – секунда») деп аталады, яғни бұл- жылдық параллакс

1" болатындай жұлдыздың қашықтығы (1пк). Сонымен, осы әдістердің көмегімен Күн жүйесіндегі барлық үлкенді -кішілі денелерге дейінгі және жақын жұлдыздарға дейінгі қашықтықтар өлшенді.

Ғарыштағы аспан денелеріне дейінгі қашықтық өте үлкен болғандықтан, оларды километрмен көрсету ыңғайсыз, өйткені көптеген цифрлардан тұратын өте үлкен сандар шығады. Сондықтан астрономияда километрден басқа келесі қашықтық бірліктері қабылданады:

*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)

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

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

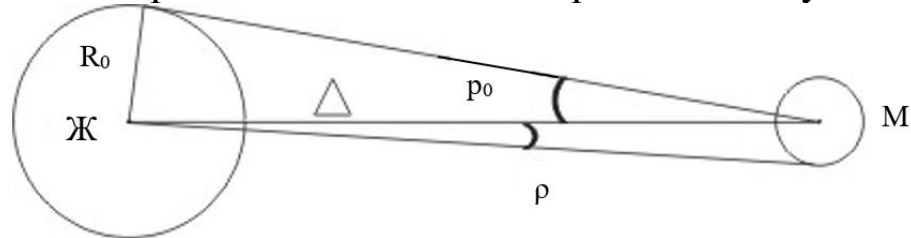
$$\Delta = \frac{1}{\pi''} \text{ пк және } \Delta = \frac{3,26}{\pi''} \text{ жарық жылы}$$

Күнге ең жақын жұлдыз «Проксима Центаврдың» жылдық параллакс  $\pi = 0",762$ . Сондықтан ол бізден 1,31 ) немесе 4,26 жарық жылы қашықтықта орналасқан.

## **2.Күн жүйесі денелерінің өлшемдерін анықтау**

Жерден әртүрлі аспан денелері үлкен, кіші болып көрінеді. Бұл аспан денесінің өзіндік өлшемдеріне ғана байланысты емес, сонымен бірге оның бақылаушыдан қашықтығына тәуелді. Шырақ дискісінің Жерден көріну бұрышы *шырақтың бұрыштық диаметрі* деп аталады. Кейбір аспан денелерінің бұрыштық диаметрлерін тікелей бақылаудан анықтауға болады. Ең үлкен бұрыштық диаметр Күн мен Айда  $\approx 32''$  қа жуық. Ғаламшарлардікі бұдан кіші, яғни 1"-

тан кіші. Жұлдыздардың бұрыштық диаметрі 0-ге жуық деп есептеуге болады, өйткені өте күшті телескоптармен бақылағанда жұлдыздар жарық нүкте болып көрінеді. Біздің қарастыратынымыз, жақын, яғни Күн жүйесі денелерінің, бұрыштық өлшемдерін анықтау. Сол аспан денесінің Жерге дейінгі қашықтығы белгілі болса, оның диаметрін сызықтық өлшемдермен анықтауға болады.



Сурет 4. Аспан денесінің диаметрін өлшеу.

4-суретте:  $\rho$  - M шырақтың бұрыштық радиусы,  $\Delta$  - шыраққа дейінгі қашықтық,  $P_0$  - шырақтың горизонттық экваторлық параллаксы,  $R_0$  және  $r$  - Жердің және M шырақтың сызықтық радиустары белгіленген.

Суреттен:  $r = \Delta \sin \rho$  және  $R_0 = \Delta \sin P_0$ , ал  $r = \frac{\sin \rho}{\sin P_0} R_0$  екендігі

көрінеді, ал бұрыштардың кішілігін ескеріп, шырақтың сызықтық радиусын жуықтап табуға болады:

$$r = \frac{\rho}{P_0} R_0$$

Денелердің дискілерінің әр бағыттағы диаметрлерін өлшеп, дұрыс пішініп анықтауға болады. Аспан денелерінің сығылғандығының немесе созылғандығының салдарынан дененің бір диаметрі басқа диаметрлерінен артық немесе кіші болуы мүмкін. Сол арқылы аспан денесінің дұрыс пішінін анықтауға болады. Жасалған өлшеулердің нәтижесінде Жер тәрізді Марс, Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун ғаламшарларының пішіні де бір диаметрі бойынша жалпайтылған шар тәрізді болатындығы анықталған.

Бұрыштық диаметрін өлшеуге болмайтын жағдайда (аспан денесі Жерден өте қашық болса) сол денелердің сызықтық өлшемдерін басқа арнайы әдістемелермен анықтайды.

### 3. Жұлдыздар аберрациясы және жылдық параллаксы.

Жердің орбита бойымен қозғалысы жұлдыздардың координаталарында периодты өзгеріс туғызады. Бұның себебі, Жер орбита бойымен қозғалғанда, жақын жұлдызға дейінгі бағыт өзгеріп,

нәтижесінде жұлдыз аспанда бір жылда эллипс сызғандай болып көрінеді.

Бұл эллипстің өлшемдері жұлдыздың жақын-алыстығына байланысты. Өте алыс жұлдыздар үшін білінбейді. Жұлдыз эклиптика жазықтығына неғұрлым жақын болса, соғұрлым эллипс сығылған болады. Ал эклиптика жазықтығындағы жұлдыз үшін параллакстық эллипс сызықшаға айналады. Параллакстық эллипстің үлкен диаметрі  $0,76''$ -тан аспайды.

Жердің орбита бойымен қозғалысы салдарынан жұлдыздың көрінерлік қалпының эллипстік траектория бойымен көрінерлік орын ауыстыруы *жылдық параллакс* деп аталады.

Жердің орбиталық қозғалысына байланысты жұлдыздардың орналасуындағы өзгерістер басқа да себеппен болады. Бұл - Жердің жылдамдығына тәуелді болатын аберрациялық ығысулар. Телескоппен жұлдызды бақылайтын астроном Жермен бірге қозғала отырып  $v_t$  қашықтыққа орын ауыстырғанда, окулярға түскен сәуле  $s$  бағытта көрінгенімен басқа бағыттан ( $s^1$ ) келген сәуле болып табылады. Яғни  $s$  бағыттағы жұлдыз  $s^1$  бағыттан табылады. 36-суретте  $\sigma = \delta$  - аберрациялық бұрыш. Вертикаль бұрыштардың теңдігінен:  $\sigma = \delta = \alpha$ . Синустар теоремасына сәйкес:  $\frac{\sin \sigma}{v_t} = \frac{\sin \beta}{ct}$ , бұдан  $\sin \sigma = \frac{v_t}{c} \sin \beta$ , мұнда:  $\sigma$  - өте кішкентай бұрыш болғандықтан,  $\sigma = 206265'' \frac{v_t}{c} \sin \beta$ , мұнда:  $v_t = 29,78$  км/с - Жердің орбита бойымен қозғалыс жылдамдығы, ал  $c = 299792$  км/с - жарық жылдамдығы екенін ескерсек:  $\sigma = 20'',496 \sin \beta \approx 20'',50 \sin \beta$  екендігі шығады. Мұнда  $\beta$  - шырақтың жорымал орнына жүргізілген бағыт пен бақылаушының қозғалыс бағытының арасындағы бұрыш. Сонымен, Бақылаушының қозғалыс жылдамдығының әсерінен жұлдыздардың көрінерлік орындарының ығысу құбылысы *астрономиялық аберрация* деп аталады.

Бақылаушы екі қозғалысқа қатысатындықтан, *аберрация* - *тәуелділік және жылдық* деп екі түрлі болады. Жылдық параллакстың салдарынан Жердің қозғалыс бағыты үнемі өзгеріп тұратындықтан, жұлдыз аспанда шын қалпының маңында аберрациялық эллипс бойымен орын ауыстырған сияқты болады. Эллипстің жарты осьтері  $20'',50$  және  $20'',50 \sin \beta$ , мұндағы  $\beta$  - жұлдыздың эклиптикалық ендігі. Эклиптика полюсіндегі жұлдыз үшін аберрациялық эллипс шеңберге айналады: өйткені  $\beta = 90^\circ$ , ал



$\sin\beta=1$  шеңбер болады, ал эклиптика жазықтығындағы жұлдыз үшін –  $\beta=0$ ,  $\sin\beta=0$  болғандықтан, абберациялық эллипс сызыққа айналады, оның ұзындығы  $20",50 \cdot 2=41",00$ . Бұл эллипстің үлкендігі жұлдыздың алыс- жақындығына тәуелді емес, Жердің орбиталық жылдамдығына ғана байланысты.

Космостың ұшулар іске асырылғанға шейін астрономиялық абберация және жылдық параллакс Жердің орбиталық қозғалысының дәлелі болған.

Астрономиялық абберация және жылдық параллакс ғарыштық ұшулар іске асырылғанша Жердің орбиталық қозғалысының дәлелі болған.

### **Оныншы дәріс бойынша бақылау сұрақтары:**

1. Күн жүйесі денелеріне дейінгі қашықтықты анықтау әдістері қандай?
2. Тригонометриялық әдісті түсіндіріңіз.
3. Радиолокациялық әдісті түсіндіріңіз.
4. Параллакс дегеніміз не?
5. Тәуліктік параллакс дегеніміз не?
6. Горизонттық параллакс дегеніміз не?
7. горизонттық экваторлық параллакс дегеніміз не?
8. Радиолокациялық әдісті түсіндіріңіз.
9. жылдық параллакс дегеніміз не?
10. Парсек дегеніміз не?
11. Жарық жылы дегеніміз не?
12. Шырақтың бұрыштық диаметрі дегеніміз не?
13. Жылдық параллакс дегеніміз не?
14. Құбылысы астрономиялық абберация дегеніміз не?
15. Абберация- тәуліктік және жылдық дегеніміз не?

### **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