

## **Дәріс 8. Күн жүйесіндегі аспан денелері**

### **Дәріс жоспары**

1. Аспан механикасы
2. Аспан денелерінің көрінерлік қозғалысы.
3. Аспан денелерінің әлемдік моделі
4. Кеплер заңдары

### **1. Аспан механикасы**

Аспан механикасы - аспан денелерінің және олардың жүйелерінің тартылыс күштерінің және басқа күштердің әсерінен болатын кеңістіктік қозғалыстарын зерттейді. Аспан денелерінің фигуралары мен олардың орнықтылығын, аспан денелерінің және олардың жүйелерінің пайда болуы және эволюциясы мәселелерін түсінуге көмектеседі. Аспан механикасы - қазіргі Күн жүйесі денелерінің және жасанды денелер қозғалысын түсіндіре алатын, болашақ қозғалысын жоғары дәлдікпен алдын ала есептеуге мүмкіндік беретін теория. Аспан механикасының бір саласы - *астродинамика*. Ал *ғарышкерлік (космонавтика)* болса, өз алдына жеке сала болып табылады. Ол автоматты және құрамында адам бар ғарыштық аппараттарды пайдаланып, әлемдік кеңістікті зерттеуді және игеруді мақсат ететін ғылым мен техника саласы болып табылады. Ол ракетодинамика және астродинамика деп екі бөлінеді. *Астродинамика* - жасанды аспан денелерінің қозғалысын және оларды басқару мәселелерін зерттейтін аспан механикасының саласы.

### **2. Аспан денелерінің көрінерлік қозғалысы.**

Аспандағы денелерінің көрінерлік қозғалысының ерекшеліктері бойынша 2 топқа бөлінеді: жұлдыздар және планеталар (ғаламшарлар). Жұлдыздардың аспандағы өзара орналасуы өзгермейді. Ал ғаламшарлар болса уақыт өткен сайын баяу орын ауыстырып, аспан сферасын айналып шығады. Ғаламшарлардың аспандағы орын ауыстыруы бірқалыпты емес. Аспанда ғаламшар бірде тез, бірде баяу қозғалып, соңынан тоқтап, одан кейін кері бағытта қозғалып, артынан тағы біртіндеп баяулап, тоқтап, содан кейін тура қозғалысын жалғастырады. Осы қозғалыс белгілі бір уақыттан кейін қайталанады. Бұдан кейін көрінерлік қозғалысы біртіндеп үдетіледі. Ғаламшарлардың ішінде екеуі, атап айтқанда, Шолпан және Меркурий, таң атар кезде - күншығыста,

немесе кешкі ымыртта - күнбатыста көрініп қалады. Бұларды *төменгі ғаламшарлар* деп атаған. Бұл ғаламшарлардың Күннен бұрыштық қашықтығы *элонгация* деп аталған.

Ғаламшарлардың Күнге қатысты орналасуында ерекше қалыптар болады. Оларды *конфигурациялар* деп атаған. Айталық, төменгі ғаламшарлардың мына конфигурациясы: Күннен батысқа қарай ең үлкен қашықтауы - *ең үлкен батыс элонгациясы* деп аталады. Ғаламшар бұл кезде күн батқаннан кейін кешкі ымыртта көріне бастайды. Бұдан кейін ғаламшар көрінерлік жылдық қозғалысында Күнді қуып жетеді. Бұл кезде ғаламшар Күн сәулелерінен көрінбейді. Бұл конфигурация ( $\lambda_{\text{пл}} = \lambda_{\odot}$ ) Күнмен *жоғарғы қосылуы* деп аталады. Бұдан кейін ғаламшар Күннен озып шыққандай күншығыста - таң атар алдында көрініп, *ең үлкен шығыс элонгациясы* деп аталатын конфигурациясында Күннен ең үлкен қашықтығында көрінеді. Бұдан кейін ғаламшар тоқтап, кідіріп, кері бағытта қозғала бастаған сияқты болады. Күн сәулелерінде көрінбей кететін конфигурацияны *Күнмен төменгі қосылуы* деп атайды. Меркурийдің ең үлкен элонгациясы  $18^{\circ}$ - $28^{\circ}$ , ал Шолпандікі:  $45^{\circ}$ - $48^{\circ}$ . Күн өзінің көрінерлік жылдық қозғалысында аспанда 1 жылда толық бір айналым жасайтындығын білесіздер. Осы қозғалысында Күн 12 шоқжұлдызды кесіп өтеді. Бұларды *зодиактық шоқжұлдыздар* деп атайды. Күн маңында қозғалған Шолпан мен Меркурий де осы шоқжұлдыздардан өтетіндігі анық.

*Сыртқы ғаламшарларға:* Марс, Юпитер Сатурн және т. б. ғаламшарлар жатады. Аталған үшеуі ерте заманнан белгілі, қалғандары кейін табылды. Сыртқы ғаламшарлардың көрінерлік қозғалысының Күнмен байланысы шамалы және баяу. Олардың қозғалысында да ерекше қалыптар- конфигурациялар бөлінген. Көрінерлік қозғалысында Күннен озып өткен ғаламшар *Күнмен қосылуы* конфигурациясынан асқан кезде ( $\lambda_{\text{пл}} = \lambda_{\odot}$ ) ( $\lambda$ - эклиптикалық бойлық), қозғалысын баяулатып, тоқтап, одан кейін кері қозғала бастайды; кері қозғалысының орта шенінде ғаламшар мен Күннің  $\lambda$  эклиптикалық бойлықтарының айырмасы  $180^{\circ}$  болады. Бұл конфигурация *қарама-қарсы тұру* деп аталады.

Күнмен қосылуы ( $\lambda_{\text{пл}} = \lambda_{\odot}$ ) мен қарама-қарсы тұру ( $\lambda_{\text{пл}} = \lambda_{\odot} + 12^{\text{h}}$ ) конфигурацияларының арасында, дәлірек:  $\lambda_{\text{пл}} = \lambda_{\odot} + 6^{\text{h}}$  нүктелерінде, яғни ғаламшар Күннен  $90^{\circ}$  шығысқа (*шығыс квадратура*) және  $90^{\circ}$  батысқа (*батыс квадратура*) ығысып орналасқан конфигурациялар бар. Ғаламшардың осы конфигурацияларында: Күн мен өзі – бірі -

горизонтта шығып не батып жатқан мезетте, екіншісі - жоғары кульминацияда болады.

Ғаламшарлардың көрінерлік жылдық қозғалысы түсініксіз болып көрінеді. Сондықтан болар, ежелден астрономдар осы қозғалысты әртүрлі аңыздармен түсіндіруге, түрліше жоруға тырысты.

Ғаламшарлардың көрінерлік баяу қозғалысын зерттеуге мынадай қажеттіктер де себеп болды. Әрбір ғаламшар үшін аттас конфигурациялар бірдей уақыт аралықтарында қайталанып тұрды. Бұл уақыт аралығы ғаламшардың *синодтық периоды* деп аталды. Ғаламшардың көрінерлік баяу қозғалысының синодтық периодын біле отырып, болашақ уақыт мезеттеріндей орналасуын алдын ала есептеуге болатын. Сондықтан ғаламшарлардың бақылаудан алынған координаттарын есептелген таблицадағы мәнімен салыстыра отырып, теңізде жүрген саяхатшылар, не шөл далада жүрген керуеншілер дәл уақытта біле алатын. Ал оны жергілікті күн уақытымен салыстыра отырып берілген пункттің географиялық ендігін анықтай алатын мүмкіндігі болған.

Сондықтан, ғаламшарлардың көрінерлік қозғалысын дұрыс түсініп, есептей білудің адам қоғамының өмірінде маңызы жоғары болған. Ежелгі абыздар аспан денелерінің көрінерлік қозғалысын болжау мүмкіндігіне ие болғандықтан, қараңғы халыққа билігін асыра алған. Ғаламшарлар қозғалысы адам тағдырына әсер етеді деген астрологиялық ілімнің де адам қоғамында орны ерекше болатын. Жақсы астроном сол заманда астролог болуы шарт еді.

Ғаламшарлардың, Ай және Күннің көрінерлік жылдық қозғалыстарын түсіндіру үшін ерте заманнан бастап әртүрлі модельдер ұсынылған болатын. Қазіргі көзқарас тұрғысынан барлық модельдерді *геоцентрлік* және *гелиоцентрлік* болып екі топқа бөлуге болар еді.

### **3. Аспан денелерінің әлемдік моделі**

*Птолемейдің әлемдік моделінің* центрінде Жер орналасқан. Басқа аспан денелері, оның ішінде Күн мен Ай, - Жерді шеңберлік траекториялармен айнала қозғалады. Бірақ ғаламшарлардың да, Күн мен Айдың да көрінерлік қозғалысы бірқалыпты болмағандықтан, *деферент* деп аталатын шеңберлік жолдармен ғаламшарлардың өздері емес, эпициклдердің центрлері бірқалыпты орын ауыстырады. Ал ғаламшардың өзі эпицикл бойымен орын ауыстырады.

Птолемейдің әлемдік жүйесін 4 ереже арқылы білдіруге болады:

1. Әлемнің центрінде Жер орналасқан.
2. Жер қозғалмайды.
3. Барлық аспан денелері Жерді айнала қозғалады.
4. Аспан денелердің қозғалысы шеңбер бойымен әрі бірқалыпты болады.

Птолемейдің қосымша екі шарт қабылдаған. Бұл шарттар Күнге жүргізілген бағытты ерекшелендіреді.

1. Төменгі ғаламшарлар эпициклдерінің, Жер және Күн центрлері бір түзудің бойында жатады.

2. Жоғарғы ғаламшарлардың эпициклдерінің радиус-векторлары осы түзуге параллель

Птолемей: 
$$\frac{1}{S} = \frac{1}{T} - \frac{1}{T_{\oplus}}$$
 теңдеуін дәлелдеусіз қабылдап

алды. Мұнда S- ғаламшарлардың эпицикл бойымен айналу периоды.

T - эпицикл центрлерінің деферент бойымен айналу периоды.  $T_{\oplus}$  - тропикалық жыл. Бұл теңдеу кейін ішкі ғаламшарлардың нақты орбиталық қозғалысы мен көрінерлік қозғалысының сипаттамаларын байланыстыратын *синодтық қозғалыс теңдеулерінің* бірі болып шықты. Птоломей бұл сұлбаларды түзету үшін *эксцентр* және *эквант* ұғымдарын енгізді. Ондағы мақсаты: ғаламшарлар мен Күннің көрінерлік қозғалысының бірқалыпсыздығын түсіндіру. Ең алдымен эпициклдың центрі деферент бойымен емес, центрі Жерден ығысқан шеңбер бойымен қозғалады. Оны *эксцентр* деп атайды. Бірақ эпицикл центрі эксцентрмен бірқалыпсыз қозғалады. Ал *эквант* деп аталатын нүктеден қарағанда, бұл қозғалыс бірқалыпты болып көрінеді. *Эквант* деп сонымен бірге центрі осы нүктеде болатын шеңберді де айтады. Әрбір ғаламшар Күн және Ай үшін деферент, эпицикл, эксцентр немесе экванттың таңдап, жазықтықтарының бір-біріне көлбеулік бұрыштарын таңдап, аспан денелерінің орын ауыстыруларын дәл есептеуге мүмкіндік пайда болды.

Птолемей моделінің күрделілігі өндіргіш күштердің дамуына тежеу салды. Осыдан әлемдік жүйені қайта қараудың қажеттігі туды. Бұл қажеттіктен *Коперниктің әлемдік жүйесі* пайда болған. Коперник - поляк халқының данышпан ғалымы әрі қоғамдық қайраткері. Бұл жүйе келесі ережелерге сүйенеді:

1. Әлем центрінде Күн орналасқан.
2. Шар тәрізді Жер өз осінен айналады.
3. Барлық ғаламшарлар және Жер - Күнді айнала қозғалады, осы арқылы Күннің жұлдыздар ішінде көрінерлік қозғалысы түсіндіріледі.
4. Барлық қозғалыстар шеңберлік орбиталармен және бірқалыпты болады.

Коперник ғаламшарлар мен Жер орбиталары жазықтықтарының бір-біріне жақын екендігін, яғни эклиптика жазықтығына өте жуық екендігін айтады. Төменгі ғаламшарлар көрінерлік қозғалыс кезінде Күннен алшақ шықпайтындығы: олардың нақты қозғалысының Күн маңында болатындығын көрсетеді. Басқа ғаламшарлар Коперник моделінде Жермен салыстырғанда Күннен алысырақ орналасатындығы. Ал көрінерлік қозғалысы жөнінен ғаламшардың ішінде шапшаң орын ауыстыратыны Марс болса, ол Жерге ең жақын қозғалатын ғаламшар болғаны. Ал Юпитер мен Сатурн баяуырақ қозғалады, демек олар Марсқа қарағанда Күннен алысырақ. Аспан шырақтарының тәуліктік қозғалысын Коперник Жердің өз осінен айнала қозғалысының салдарынан көрінетін құбылыс деп есептеген. Коперник жүйесінің ең сыртқы сферасында Птолемейдікіндей жұлдыздар бекітіліп қойылған деп есептелген. Барлық ғаламшарлардың нақты орбиталық қозғалысы шеңбер бойымен болады деп есептелген. Өйткені ол заманда шеңбер барлық фигуралардың ішінде ең жетілгені, ол құдайға жағымды деп есептелген.

Коперниктің де ойынша ғаламшарлардың орбиталары тек шеңбер болуы мүмкін. Кеплер 1609 жылы Марс орбитасы шеңбер емес, эллипс деген қорытындыға келеді. Күн сол эллипстің бір фокусінде орналасқан болып шықты. Кеплер кейін басқа заңдарды ашады.

Планеталардың Күнді айнала қозғалысы Кеплер заңдарымен сипатталған.

#### **4. Кеплер заңдары**

Иоганн Кеплер келесідей тұжырымдаған:

1. Барлық планеталар эллипс бойымен қозғалады, оның бір фокусында (барлық планеталарға ортақ) Күн орналасқан.

2. Планетаның радиус векторы тең уақыт аралықтарында тең аудандарды сипаттайды.

3. Планеталардың Күнді айнала айналуының жұлдыздық периодтарының квадраттары олардың эллипстік орбиталарының жартылай үлкен осьтерінің кубтарына пропорционал.

Планеталардың салыстырмалы орналасуы олардың гелиоцентрлік эклиптикалық координаталары арқылы оңай белгіленеді, олардың мәндері жылдың әртүрлі күндері үшін астрономиялық күнтізбелерде «Планеталардың гелиоцентрлік бойлықтары» деп аталатын кестеде жарияланды. Бұл координаталар жүйесінің орталығыда Күн, ал негізгі жазықтығында эклиптика орналасқан.

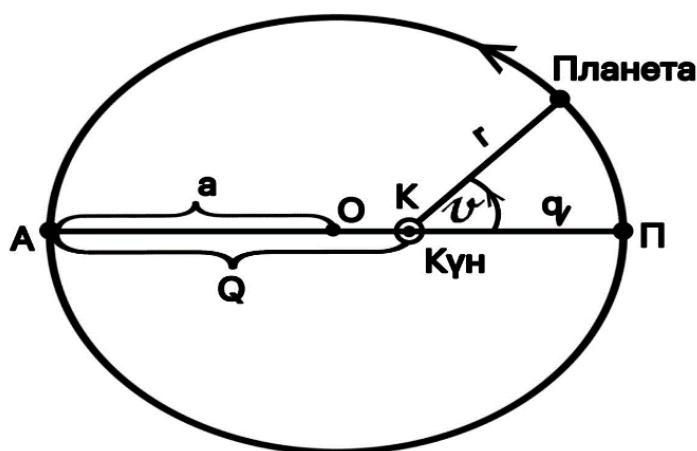
Планеталар Күнді эллипспен айналып өтетіндіктен, әр планетаның Күннен қашықтығы әр түрлі өзгеріп отырады (1-сурет). Планетаның Күннен минималды қашықтығы  $q$  *перигелий қашықтығы*, ал оның Күннен ең үлкен қашықтығы –  $Q$  *афелий қашықтығы* деп аталады.

$Q$  және  $q$  мәндері планетаның Күннен  $a$  орташа қашықтығымен (яғни планета орбитасының *үлкен жартылай осімен*) мына тәуелділікпен байланысты:

$$q = a(1 - e) \text{ және } Q = a(1 + e),$$

мұндағы  $e$  – планета орбитасының эксцентриситеті. Одан туындайтыны

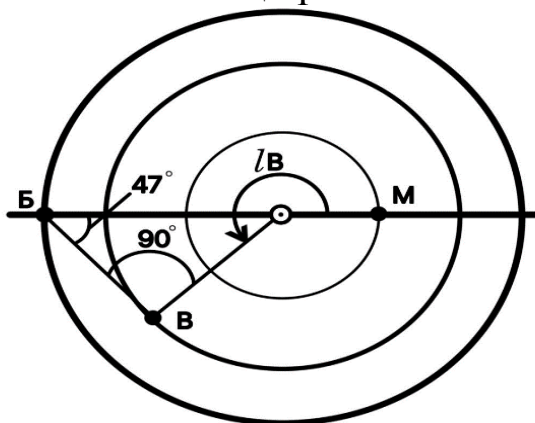
$$q + Q = 2a, a = \frac{q+Q}{2}.$$



Сурет 1. Планетаның эллипстік орбитасының элементтері

Ең үлкен элонгацияның мәні (яғни ішкі планетаның Күннен көрінетін бұрыштық алыстауы) оның Күннен элонгация сәтіндегі қашықтығына тәуелді (2-сурет).

Планета перигелийде болған кезде, ең үлкен элонгация мөлшері афелияда болған кездегі ең үлкен элонгация мәнінен аз болады, егер планетаның орбитасында айтарлықтай созылыққы болса (Меркурий планетасының орбитасы сияқты).



Сурет 2. Шолпанның батыс элонгациясы

Егер Жердің Күннен қашықтығы  $a_3$  болса, онда ішкі планета үшін

$$q = a_3 \cdot \sin A_1 \text{ және } Q = a_3 \cdot \sin A_2$$

мұндағы  $A_1$  – планета перигелийде болған кездегі ең үлкен элонгация мәні;  $A_2$  – планета афелияда болған кездегі ең үлкен элонгация мәні.

Екі планета үшін олардың екі сидерлік айналу кезеңдері  $T_1$  және  $T_2$  олардың Күннен орташа қашықтықтарымен  $a_1$  және  $a_2$  Кеплердің үшінші заңымен байланысты:

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}$$

мұндағы  $T_1, T_2$  - планеталардың жұлдыздық орбиталық периодтары,  $a_1, a_2$  - орбиталарының жартылай үлкен осьтері.

Егер орбиталардың жартылай үлкен осьтері Жерден Күнге дейінгі орташа қашықтықтың өлшем бірліктерімен өрнектелсе (*а.б.*) және айналу кезеңдері жылдармен болса, онда Жер үшін  $a=1, T=1$ , ал кез келген планетаның Күн айналасындағы айналу периоды:

$$T^2 = a^3$$

И.Ньютонаң еңбектерінің арқасында Кеплердің жалпыланған заңдары нақтылаған:

1. Тартылу күшінің әсерінен бір аспан денесі екінші аспан денесінің тартылыс өрісінде конустық қималардың бірі – шеңбер, эллипс, парабола немесе гиперболо бойымен қозғалады. Бұл тұжырым барлық аспан денелерінің қозғалысын сипаттау үшін қолайлы: жер серіктері, кометалар, қос жұлдыздар және т.б.

Дененің бетіндегі ауырлық күшінің үдеуі, оның айналасындағы денелерге әсер ететін гравитациялық үдеу:

$$g = k^2 \frac{M}{r^2},$$

мұндағы  $M$ - дене массасы;  $r$  – оның ортасынан тартылатын дененің ортасына дейінгі қашықтық;  $k^2=6,68 \cdot 10^{-8} \text{ см}^3/(\text{г} \cdot \text{с}^2)$  – гравитациялық тұрақтылық, мұнда ол СГС (сантиметр-грамм-секунда) жүйесінде берілген.

Аспан денесінің бетіндегі  $\vartheta_K$  сындық жылдамдығы мына қатынаспен анықталады:

$$g = \frac{\vartheta_K^2}{r} = 2 \cdot k^2 \frac{M}{r^2}, \text{ яғни } \vartheta_K = \sqrt{2} \cdot k^2 \frac{M}{r},$$

мұндағы  $g$  - дене бетіндегі ауырлық күшінің үдеуі;  $M$  – дене массасы;  $r$  – дене радиусы.

2. Уақыт бірлігінде радиус векторымен сипатталған аудан тұрақты шама.

$$r^2 \frac{d\theta}{dt} = \text{const},$$

мұндағы  $\theta$  полярлық бұрыш (шын аномалия).

2. Кеплердің жалпылама заңы:

$$\frac{T_1^2(M_1 + m_1)}{T_2^2(M_2 + m_2)} = \frac{a_1^3}{a_2^3}$$

мұндағы  $M_1$  және  $m_1$ - бір орталық дененің және оның серігінің массалары (мысалы, Күн мен Жердің массасы немесе Жер мен Айдың массасы),  $a_1$  және  $T_1$  - серіктің орбитасының жартылай үлкен осі және оның орталық дененің айналасындағы орбиталық кезеңі.  $M_2, m_2, a_2$ , және  $T_2$ -да басқа орталық дене және оның серігі үшін



тиісті мәнге ие (мысалы, Юпитер және оның спутниктерінің бірі үшін).

Күн айналасындағы планеталардың қозғалысында синодтық және сидерлік айналу кезеңдері ажыратылады.

*Планетаның айналуының синодтық кезеңі (S)* - оның бір аттас екі ретті конфигурациялары арасындағы уақыт аралығы.

*Сидерлік немесе жұлдыздық айналым кезеңі (T)* – планета өз орбитасында Күнді бір толық айналып өтетін уақыт кезеңі.

Жердің айналуының сидерлік кезеңі жұлдыздық жыл ( $T_{ж}$ ) деп аталады.

Планета үшін тәулігіне орбитадағы бұрыштық орын ауыстыру  $= 360/T$ , ал Жер үшін  $= 360/T_{ж}$ . Планетаның және Жердің тәуліктік бұрыштық жылжуларының арасындағы айырмашылық планетаның тәулігіне көрінетін орын ауыстыруы болып табылады, яғни.  $360/S$ .

$T$  планетаның Күнді айналып өтуінің *жұлдызды* немесе *сидерлік* кезеңі оның синодтық айналу кезеңімен  $S$  тәуелділігімен байланысты:

төменгі планеталар үшін (Меркурий және Шолпан)

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{T} - \frac{1}{E}$$

жоғарғы планеталар үшін (Марс, Юпитер, Сатурн, Уран және Нептун):

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{E} - \frac{1}{T}$$

мұндағы  $E$  – Жердің Күннің айналысында айналуының сидерлік кезеңі;  $E = 1$  жұлдызды жыл, яғни  $E = 365,26$  тәулік. *Бұл синодтық қозғалыстың теңдеулері.*

Әдетте шешім жұлдызды жылдарда жүргізіледі және қажет болған жағдайда тәуліктерге ауыстырылады.

### **Сегізінші дәріс бойынша бақылау сұрақтары:**

- 
1. Төменгі ғаламшарларға қандай аспан денелерін жатқызамыз?
  2. Элонгация деп нені айтамыз?
  3. Ең үлкен батыс элонгациясы деп нені айтамыз?
  4. Үлкен шығыс элонгациясы деп нені айтамыз?

5. Зодиактық шоқжұлдыздарын атаңыз?
6. Сыртқы ғаламшарларға қандай аспан денелері жатады?
7. Синодтық периоды....?
8. Геоцентрлік және гелиоцентрлік айырмашылығын түсіндіріңіз.
9. Птолемейдің әлемдік моделін айтыңыз.
10. Птолемейдің әлемдік жүйесінде 4 ережені атаңыз.

- 
11. Синодтық қозғалыс теңдеулерін жазыңыз.
  12. Эксцентр және эквант ұғымдарын түсіндіріңіз.
  13. Коперниктің әлемдік жүйесі айтыңыз.
  14. Кеплер заңдарын түсіндіріңіз.
  15. И.Ньютонның Кеплердің жалпыланған заңдарын қалай нақтылаған.
  16. Планетаның айналуының синодтық кезеңі деп қандай уақыт аралығын айтамыз.
  17. Сидерлік немесе жұлдыздық айналым кезеңі деп қандай уақыт аралығын айтамыз.
  18. Күн жүйесі деп қандай жүйені айтамыз?
  19. Үлкен ғаламшарларды атаңыз.
  20. Ғаламшар серіктерін атаңыз.
  21. Экзопланеталар деп қандай планеталарды айтамыз?

### **Пайдаланылған әдебиеттер тізімі:**

- 
1. Кенжалиев Д. И. Астрономия: Жоғарғы оқу орындарының студенттеріне арналған оқу құралы. – Алматы: Эверо, 2020. – 416 б. ISBN 978-601-240-246-9
  2. Жаңабаев З.Ж., Наурызбаева А.Ж., Ізтілеуов Н.Т. Жалпы астрономия: Жоғарғы оқу орындарының студенттеріне арналған оқу құралы. – Алматы: Қазақ университеті, 2010. – 184 б.
  3. 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
-