

Зертханалық жұмыс № 8

Оптикалық жүйелер

Жұмыстың мақсаты: әр түрлі оптикалық жүйе телескоптарының сипаттамаларын анықтау мәселелерін шешу, телескоптардың көмегімен аспан денелерін бақылау жағдайларын талдау.

Құралдар-жабдықтар: шағылыстыратын телескоптар.

Жұмысты орындау үшін алдын-ала білу керек мәліметтер:

1. Телескоптың мақсаты.
2. Оптикалық телескоптардың түрлері.
3. Телескоптардың сипаттамасы.
4. Линзаның және телескоптың сипаттамаларын білу.
5. Телескоптың үлкейтуін, фокустық аралығын, шығу көзінің қарашығын және ажыратымдылығын таба білу.
6. Телескоптардың мүмкіндіктеріне салыстырмалы талдау жасай білу.

Қысқаша теориялық мәліметтер

Оптикалық телескоптар негізгі астрономиялық құралдар болып табылады. Олар мыналарға арналған:

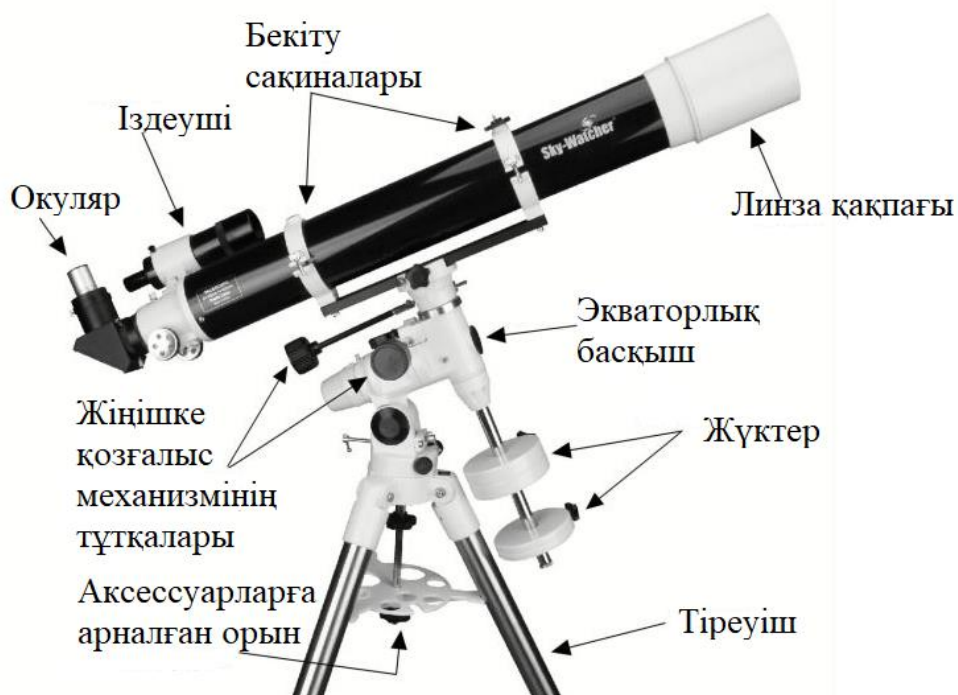
1. Алыстағы заттан мүмкіндігінше көбірек жарық жинақтау үшін.
2. Бақылаушыға жақын қашықтықтағы объектінің бейнесін жасау үшін және қарапайым көзге қол жетпейтін бөлшектерді ажыратуға мүмкіндік беру үшін.

Үш топқа біріктірілген өте күрделі оптикалық телескоптық жүйелер бар:

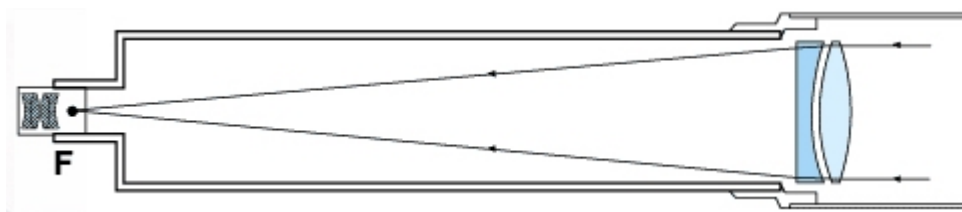
- *линзалық телескоптар немесе рефракторлар* (1-сурет). Бұл рефракторлар (латын тілінен аударғанда «refractus» - «сынған») - жарық сәулелерінің сынуы арқылы бақыланатын объектілердің бейнесін құрайтын линза объектісі бар телескоптар. Рефракторларда жарық объективті линза арқылы жиналады. Рефракторлар визуалды, фотографиялық, сирек спектрлік және басқа бақылаулар үшін қолданылады. Рефракторлар әдетте Кеплер жүйесі бойынша құрастырылады. Рефракторлық телескоп екі негізгі компоненттен тұрады: үлкен объективті линза және окуляр (2-сурет). Барлық үлгілер мен саңылаулардың рефракторларына ахроматикалық (екі

элементті) объективті линзалар кіреді - бұл линзадан жарық өткен кезде алынған кескінге әсер ететін жалған түсті (хроматикалық абберрация) азайтады немесе іс жүзінде жояды.

Линзалық телескоптар немесе рефракторлар телескоптар туралы қосымша ақпаратты мына сілтемеден көре аласыз <https://www.astrotime.ru/Stroenie.html>;



Сурет 1. Линзалық телескоп немесе рефрактор.



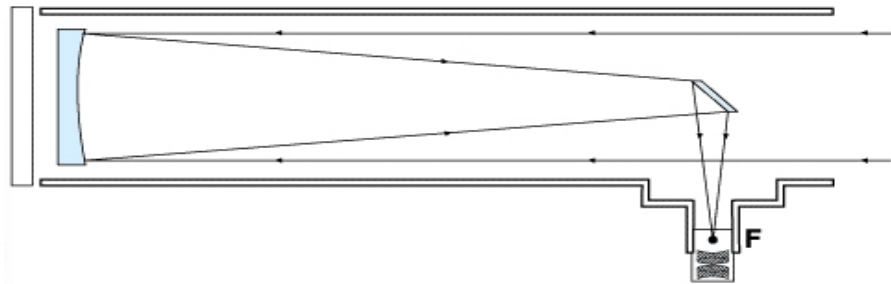
Сурет 2. Линзалық телескоп немесе рефрактор схемасы.

- *айналы телескоптар - рефлекторлар*. Бұл рефлекторлар (латын тілінен reflector – «шағылысатын») - айна бетінен жарықты шағылыстыру арқылы кескінді құрайтын айна линзасы бар телескоптар. Шағылыстырғыштар негізінен аспанды суретке түсіру, фотоэлектрлік және спектрлік зерттеулер үшін, сирек визуалды бақылау үшін қолданылады (3-сурет). Рефлекторлардың рефракторларға қарағанда бірқатар артықшылықтары бар: оларда хроматикалық абберрация жоқ; негізгі айна объективті линзадан үлкенірек болуы мүмкін.



Сурет 3. Айналы телескоп - рефлекторлар

Егер айна сфералық емес, парабодалық болса, онда сфералық абберацияны іс жүзінде нөлге дейін азайтуға болады. Рефлекторларда линза ойыс айна болып табылады, оны *негізгі айна* деп аталады (4-сурет).



Сурет 4. Айналы телескоп – рефлекторлар схемасы

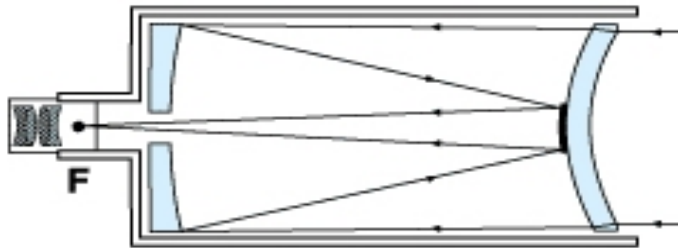
Аспан объектілерін суретке түсіруге арналған фотопластиналарды негізгі айнаның фокустық жазықтығына (бастапқы немесе тікелей фокустау жүйесі) орналастыруға болады;

- *айналы-линзалы телескоптар (катадиоптриялық)*. Айналы-линзалы телескоптар бір уақытта айнаны және линзаны пайдаланады (5-сурет). Көрнекі бақылау кезінде линзаның фокустық жазықтығына окуляр орнатылады, ол *қысқа фокусты линзалар жүйесі* деп аталады (6-сурет). Окулярдың орнына сезімтал сәуле

қабылдағышты орнатуға болады: фотопластинка, фотокөбейткіш және т.б.



Сурет 5. Айналы-линзалы телескоп



Сурет 5. Айналы-линзалы телескоп схемасы

Телескоптың негізгі сипаттамалары оның F фокустық қашықтығы, D объектив диаметрі және A салыстырмалы саңылауы. Бұл сипаттамалар бір-бірімен мына қатынаспен байланысады:

$$A = \frac{D}{F}$$

Салыстырмалы саңылау көбінесе *жарық күші* деп аталады.

Телескоп беретін W ұлғайту мынаған тең:

$$W = \frac{F}{f} = \frac{\beta}{\rho'}$$

мұндағы f – окулярдың фокустық қашықтығы; ρ – қарусыз көзбен бақылаған кездегі шырақтың бұрыштық өлшемдері; β – дәл сол шырақтың телескоппен бақылағандағы бұрыштық өлшемдері.

Ұлғайту еселігі әдетте дерәже көрсеткіші түріндегі санның жанына қойылатын x белгісімен белгіленеді; мысалы 50^x , 120^x .

Атмосфералық жағдай жақсы болған кезде телескоппен орындалатын ең үлкен ұлғайту:

$$W_m = 2D$$

ал ең аз немесе тең мәнді ұлғайту:

$$W_z = \frac{D}{6},$$

мұндағы D – миллиметрде өрнектелген объектив диаметрі.

Телескоптың θ рұқсат ету аймағы (немесе кеңейту күші) олар бір-біріне қосылмай қатар көрінетін екі нүктелік объект арасындағы ең кіші бұрыштық қашықтықпен сипатталады:

$$\theta = \frac{140''}{D},$$

ал оған сәйкес келетін рұқсат беретін ұлғайту деп аталатын ұлғайту:

$$W_\theta = \frac{D}{2}, =.$$

Телескоптың m_T өткізгіш қабілеті (күші) бұл қараңғы, бұлтсыз түнде телескоптық бақылауларға қол жетімді жұлдыздардың шекті шамасын білдіреді:

$$m_T = 2^m, 10 + 5 \lg D.$$

(объективтің диаметрі миллиметрде өрнектелген).

Төмендегі кестеде әртүрлі кіріс саңылаулары бар телескоптың өткізгіш қабілетінің шамаланған мәндері көрсетілген (1 кесте).

Кесте 1.

Кіріс саңылауларының диаметрі, мм	50	70	100	140	200	250	500	1000
Телескоптың өткізгіш қабілеті (күші)	5 ^m 0	10.3	11.1	11.9	12.6	13.4	13.9	16.9

Шырақтың кескіні (немесе шырақтар арасындағы қашықтық) телескоптың фокальды жазықтығында (қарапайым тілмен айтқанда телескоп фокуссында), оның ішінде онда алынған фотонегативтерде сызықтық өлшемге ие:

$$d = F \cdot \operatorname{tg} \rho,$$

ал кіші бұрыштық өлшемдерде:

$$d = F \frac{\rho'}{3438'} = F \frac{\rho''}{206265''}$$

мұндағы ρ' және ρ'' - тиісінше доғаның минуттарында және секундтарында бұрыштық өлшемдер.

Доғаның минуттарында өрнектелген телескоптың көру аясының диаметрі:

$$N = \frac{2000'}{W}$$

және жұлдыздың телескоптың көру аясының диаметрі бойынша өтуі арқылы дәлірек анықталады:

$$N = \frac{\tau}{4} \cos \delta,$$

мұндағы, τ – секундтарда жұлдыздың өту ұзақтығы және δ – жұлдыздың қисаюы.

Радиотелескопта және радиоинтерферометрде кеңейтілімі мынаған тең:

$$\theta = 2'',51 \cdot 10^5 \frac{\lambda}{D} = 4200' \frac{\lambda}{D},$$

мұндағы, λ – радиотолқын ұзындығы; D – радиотелескоптың диаметрі немесе радиоинтерферометрді құрайтын телескоптар арасындағы қашықтық. λ және D бірдей өлшем бірліктерінде алынады.

Радиоқабылдау құрылғысының радиосигналдарға ден қою дәрежесі сезімталдылықпен сипатталады:

$$\Delta T = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{T_{\text{ш}}}{\sqrt{\tau_0 \cdot \Delta \nu}},$$

$T_{\text{ш}}$ - шу температурасымен, жазатын құрылғының ден қою уақыты деп аталатын τ_0 уақыт тұрақтысымен (секундта) және $\Delta \nu$ өткізу жолағымен (герцте) анықталады.

уақыт константасы 0 разряд, ол жазу құрылғысының іске қосылу уақыты (секундтармен) және өткізу қабілеттілігі деп аталады ν разряд (герцпен).

Телескопты үлкейту. Егер линзаның фокустық аралығын F деп, ал окулярдың фокус аралығын f деп белгілесек, онда M үлкейту мына формуламен анықталады:

$$M = F/f.$$

Телескоп арқылы берілген үлкейтуді объектіні бір көзбен телескоппен, ал екіншісімен тікелей қарау арқылы бағалауға болады. Содан кейін телескоптың үлкейтуі:

$$M = B/b,$$

мұндағы B - кескіннің өлшемі, b - нысанның өлшемі.

Есептерді шығару мысалдары

1-есеп

Шолпанның оның ең үлкен элонгациясының жанындағы бұрыштық диаметрі $25''$ -ке тең. Объективтің фокустық қашықтығы $10,8$ м болатын телескопта бақылаулар кезінде Шолпан бұрыштық диаметрі $32'$ -ге тең Ай өлшемдерінде көрінуі үшін қандай окулярды қолдану керек және телескоптың фокусында алынған негативте планета кескінінің диаметрі қандай болады?

Шешуі: Ұлғайтуды $W = \frac{\beta}{\rho}$ формуласымен есептеу қажет:

$$W = \frac{1920}{25} = 77^x;$$

бұл ретте, бұрыштық минуттар бұрыштық секундтарға ауыстырлды.

$W = \frac{F}{f}$ формуласын қолдана отырып, окулярдың фокустық қашықтығын анықтауға болады:

$$f = \frac{F}{W} = \frac{1080}{77} = 14,0 \text{ см} = 140 \text{ мм.}$$

Фотонегативтегі планета кескінінің диаметрі:

$$d = F \frac{\rho''}{206265''} = 1080 \frac{25''}{206265''} \Rightarrow d = 1,3 \text{ мм.}$$

2-есеп

Телескоп объективінің диаметрі 14 см, осы метеожағдайларда оның ажыратымдылығы $3''$ -ке ең, бақылаушы көзінің қарашығының диаметрі 7 мм, ал көзінің ажыратымдылығы $2'$. Телескоптың ұлғайтуын қандай шектерде таңдаған орынды?

Шешуі: $\theta_{min} = \frac{140''}{D} \Rightarrow \theta_{min} = \frac{140}{7} = 20$ және $\theta_{max} = \frac{2'}{3''} = \frac{120}{3} = 40$ формуласын пайдалану керек. Тиісінше, телескоптың ұлғайтуын 20-тан 40 есеге дейінгі шектерде алу ыңғайлы.

3-есеп

Егер қарашықтың диаметрі 5 мм болса, көздің теориялық ажыратымдылығы шамамен қандай?

Шешуі: Визуалды сәулелер үшін толқын ұзындығын $\lambda = 500 \text{ нм}$ деп алу қажет. θ теориялық ажыратымдылық сәулелену λ толқынының ұзындығының қарашық d диаметрінің қатынасына тең:

$$\theta = \frac{\lambda}{d} = \frac{5 \cdot 10^{-7}}{5 \cdot 10^{-3}} = 10^{-4} \text{ рад} = 20'', 6.$$

Тиісінше, қалыпты қарашықты адам өлшемі доғаның 20 секунды болатын бөлшектерді көреді.

4-есеп

30 см толқында бақылау кезінде РАТАН-600 радиотелескопы қандай ажыратымдылықпен жұмыс істейді?

Шешуі: $\theta = \frac{\lambda}{d}$ формуласын қолданып, есептеулер жүргізу қажет:

$$\theta = \frac{0,3}{600} 0,005 \text{ рад} = 103'', 14 = 1'43'', 14.$$

Осылайша, РАТН-600 $\theta \approx 103''$ ажыратымдылығымен жұмыс істейді.

5-есеп

Антенналар арасындағы қашықтық Жер радиусына тең болса, 1 см толқынмен жұмыс істейтін континентаралық радиоинтерферометрдің теориялық ажыратымдылығы қандай?

Шешуі: Тапсырманы шешу үшін $\theta = \frac{\lambda}{d}$ формуласын қолдану қажет:

$$\theta = \frac{10^{-2}}{6378 \cdot 10^3} = 16 \cdot 10^{-10} \text{ рад} = 32,32 \cdot 10^{-5}.$$

Осылайша, континентаралық радиоинтерферометрдің ажыратымдылығы доғаның $= 32,32 \cdot 10^{-5}$ секундына тең.

Жұмыстың орындалу барысы:

Тапсырмаларды шешіңіз және сұрақтарға жауап беріңіз

1. Бірінің объективінің диаметрі 37,5 см және фокустық қашықтығы 6 см, ал екіншісінің объективінің диаметрі 1 м және фокустық қашықтығы 8 м болатын екі телескоптың салыстырмалы

саңылауын, ажыратымдылығын, өткізгіш қабілетін, ең үлкен, ең кіші және рұқсат етілген үлкейтуін анықтаңыз.

2. Біріншісінің диаметрі 30 см және жарық күші 1:5, ал екіншісінің диаметрі 91 см және жарық күші 1:19 болатын, окулярларының фокустық ұзындығы 40 мм және 10 мм болатын екі телескоптың ұлғайтуы мен көру өрісінің диаметрін анықтаңыз.

3. Фокустық қашықтығы 1,25 м және жарық күші 1:5 және фокустық қашықтығы 7,50 м және жарық күші 1:15 болатын телескоптарда бақылау жүргізу кезінде фокустық қашықтығы 5 мм болатын окулярды қолданудың мағынасы бар ма?

4. 20 см және 1 м объективтері бар телескоптарда екілік жұлдыздың компоненттері арасындағы қандай ең аз бұрыштық қашықтық көрінуі мүмкін?

5. Біріншісінің фокустық қашықтығы мен объективінің жарық күші 1 м және 1:10 болатын, ал екіншісінің фокустық қашықтығы мен жарық күші 14 м және 1:16 болатын телескоптар екілік жұлдыздардың компоненттері арасындағы қандай ең кіші бұрыштық қашықтықты көре алады? Осы үшін қолданылатын окулярлардың фокустық қашықтығы қандай болуы керек?

6. Аққудың β (35"), Жеті қарақшының ζ (14") және Бикештің γ (5",0) екілік жұлдыздарын телескоптың қандай ең кіші диаметрінде көруге болады және бұл ретте минималды ұлғайту шамамен қандай болуы керек? Жақшада екілік жұлдыздардың компоненттері арасындағы бұрыштық қашықтық берілген.

7. Егер Марс, Уран және Нептун планеталарының орташа қарсылықта бұрыштық диаметрлері 18", 4",0, 2"5 болатын болса, мектеп типті телескоптарда аталған планеталарының дискілерін көруге бола ма? Мектептегі мениск телескопының линзасының диаметрі 70 мм, ал мектептегі рефрактор телескопы 80 мм.

8. Юпитердің бұрыштық диаметрі орташа қарсылықта 49"-қа, ал Шолпанның төменгі қосылу дәуіріндегі бұрыштық диаметрі шамамен 60"-қа тең. Егер ай дискісінің диаметрі 0°,5-ке жақын болса, телескопта бұл планеталардың дискілері қарусыз көзге айдың көлеміндей көрінуі үшін қандай үлкейтулерді қолдану керек?

9. Егер Бикештің κ , Капелла (Возничныйдың α) және Темірқазық (Кіші қарақшының α) жұлдыздарының қисаюлары тиісінше 0°03', +45°58' және +89°02' болатын болса, жылжымайтын телескоппен 100 есе ұлғайтқан кезде көру өрісінде аталған жұлдыздар қанша уақыт көрінуі мүмкін?

10. Еңкеюі $8^{\circ}15'$ болатын Ригель (Орионның β) жұлдызы қозғалмайтын телескоптың көру өрісінің диаметрін 1 минутта өтеді. Ұлғайтуды және осы ұлғайту кезінде телескоптың көру өрісінің диаметрін табыңыз.

11. Еңкеюі $16^{\circ}39'$ болатын Сириус (Үлкен Иттің α) жұлдызы объективінің диаметрі 20 см және жарық күші $1:15$ болатын телескоппен бақыланады. Бір окулярда аталған жұлдыз көру өрісінің диаметрі 1 минут 53 секундта, ал басқа окулярда – 38 секундта өтеді. Окулярлардың фокустық қашықтығын және олар қолданылған жағдайда телескоптың көру өрісінің диаметрін анықтаңыз.

12. Жұмыс істейтін λ радиотолқынының ұзындығы және антеннасының диаметрі: 1) $D = 22$ мм, $\lambda = 65$ см; 2) $D = 100$ мм, $\lambda = 10$ см; 3) $D = 1000$ м, $\lambda = 10$ м болатын алты метрлік рефлекторлы телескоп пен радиотелескоптың айыру күшін салыстырыңыз.

13. Өткізу жолағы $\Delta\nu$, τ_0 тұрақты уақыттың және $T_{\text{ш}}$ шу температурасының мәндері: 1) $\Delta\nu = 10^5$ Гц, $\tau_0 = 10$ с, $T_{\text{ш}} = 250$ К; 2) $\Delta\nu = 10^4$ Гц, $\tau_0 = 3$ с, $T_{\text{ш}} = 200$ К; 3) $\Delta\nu = 10^6$ Гц, $\tau_0 = 20$ с, $T_{\text{ш}} = 310$ К болғанда телескоптың өткізу жолағын есептеңіз.

14. Өткізу жолағы $\Delta\nu$, τ_0 тұрақты уақыттың және ΔT сезімталдылығының мәндері: 1) $\Delta\nu = 10^6$ Гц, $\tau_0 = 6$ с, $\Delta T = 0^{\circ}, 20$; 2) $\Delta\nu = 10^5$ Гц, $\tau_0 = 10$ с, $\Delta T = 0^{\circ}, 39$; 3) $\Delta\nu = 10^4$ Гц, $\tau_0 = 4$ с, $\Delta T = 2^{\circ}, 20$ болғанда телескоп қабылдағышының шу температурасын анықтаңыз.

15. Фокустық қашықтығы 50 мм болатын окулярда телескоп 60 -қа тең бұрыштық ұлғайту береді. Егер окулярды алып тастаса және объективпен жасалған нақты кескінді ең жақсы көру қашықтығынан қараса, бір объектив қандай бұрыштық үлкейтуге мүмкіндік береді?

Бақылау сұрақтары:

1. Егер сіз телескоп объективінің оң жақ жартысын жапсаңыз, толық Айдың көрінісі фотосуретте қалай өзгереді?

2. Шыбын телескоп объективіне қонды. Бұл телескопта бақыланатын күн бетінің көрінісі қалай өзгереді?

3. Кейбір күн телескоптарында трубасынан ауа сорылып алынған. Оның себебі неде?

4. Терең құдықтан күндіз жұлдыздарды көруге болады ма?

5. Неге Жас Айдың Күнмен жарықтандырылмаған беті жақсы көрінеді (*Айдың күлгін түсі*), ал күн тұтылуы сәтінде ол көрінбейді? Және айтқандай, қарақшылардың желкендері неге қара болған?

6. Зениттегі жұлдызды бақылау кезінде спектрдің фотографиялық облысында жарықтың жұтылуы $0,45^m$ -ды құрайды. Көкжиектегі жұтылу қандай болатынын анықтаңыз.

7. Неліктен планеталарды суретке түсіру кезінде олардың дискілерінде телескоптың визуалды бақылауларында көрінетін ұсақ бөлшектерді түсіру ешқашан мүмкін емес?

8. 1975 жылы диаметрі $D = 305$ м болатын Арасибодағы (Пуэрто-Рико) радиотелескоптың көмегімен $\lambda = 21$ см толқында шарлық жұлдыздар шоғырларының біріне қарай сигнал жіберілді. Бұл ретте, сигналдың таралу уақытына шоғырдың қозғалысын есепке алу қажеттілігі, яғни сигналды бұрыш бойынша алдын ала жіберу қажеттілігі болды ма?

Шығармашылық тапсырма: Топқа бөлініп рентген, инфрақызыл және радиотелескоптар, нейтрин телескоптары, орбиталық телескоптар және обсерваториялар туралы қысқаша баяндамалар дайындаңыз.

Әдебиеттер:

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.

2. Телегина О.С. Астрономия. / Учебно-методическое пособие для практикума. – Костанай: КГПУ им. У. Султангазина, 2018. – 148с.

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.

4. Кенжалиев Д.И. Астрономия: Жоғарғы оқу орындарының студенттеріне арналған оқу құралы. – Алматы: Эверо, 2020. – 416 б.

5. Дагаев М.М. Лабораторный практикум по курсу общей астрономии. – М.: Высшая школа, 1972. – 424 с

6. Ұсынылатын электрондық ресурстар: info@astronet.ru, <https://aphi.kz/>, <http://spacescience.ru/>, <https://asd.gsfc.nasa.gov/archive/hubble/>, www.ionos.kz/.