

Зертханалық жұмыс № 5

Күннің эклиптика бойынша бір жылдық көрінетін қозғалысы

Жұмыстың мақсаты: Жыл бойы аспан сферасындағы Күн қозғалысының заңдылықтары мен шарттарын зерттеп, Жердің климаттық белдеулерінің астрономиялық белгілерін игеру.
Құралдар-жабдықтар: аспан сферасының моделі, жұлдызды глобус, жұлдызды карталар мен атластар, астрономиялық күнтізбелер.

Жұмысты орындау үшін алдын-ала білу керек мәліметтер:

1. Эклиптика туралы түсінік.
2. Эклиптиканың экваторға еңкеюі және оның түсіндірмесі.
3. Күн мен түннің теңелу нүктелері.
4. Әр түрлі ендіктердегі Күннің көрінетін қозғалысы

Қысқаша теориялық мәліметтер

Жер күнді жер орбитасының жазықтығы деп аталатын жазықтықта айналады, сондықтан Күннің көрінетін жылдық қозғалысы дәл осы жазықтықта болады, ол аспан сферасын *эклиптика деп* аталатын үлкен шеңберде қиып өтеді. Сонымен, эклиптика жазықтығы мен жер орбитасының жазықтығы бірдей. Уақыттың кез келген сәтінде Күн аспан сферасының қандай да бір нүктесіне проекцияланып, Жерден көрінеді. Эклиптика мен аспан экваторы *күн мен түннің теңелу нүктелері* деп аталатын диаметральді қарама-қарсы екі нүктеде белгілі ε бұрышпен қиылысады. Бұлай аталу себебі дәл осы уақытта күн мен түн тең болады. ε бұрышы *эклиптиканың экваторға еңкеюі* деп аталады.

Күн көрінетін қозғалыстардың екі түрі:

1. *Тәуліктік* айналуы - Жердің өз осінің бойымен тік бағытта (батыстан шығысқа қарай) айналуының салдары ретінде ол аспан сферасымен бірге шығыстан батыс қарай бағытта айналады;

2. Эклиптика бойымен *жылдық* айналу - батыстан шығысқа қарай:

$\omega = 360^\circ / 365,25 \text{ тәулік} \approx 0,986^\circ / \text{тәулік}$, яғни $\approx 1^\circ / \text{тәулік}$ бұрыштық жылдамдықпен, орбитада Жердің Күнді бір жылдық қозғалысының нәтижесін құрайды.

Күннің жыл бойы күнделікті қозғалысын бақылай отырып, оның қозғалысындағы жұлдыздардың күнделікті қозғалысынан

ерекшеленетін бірқатар айырмашылықтарын оңай байқауға болады. Мысалы, төмендегідей:

1. Күннің шығуы мен бату орны, яғни, оның азимуты күннен күнге өзгеріп отырады. 21 наурыздан (күн шығыс нүктесінде шығып, батыс нүктесінде батқанда) 23 қыркүйекке дейін солтүстік-шығыс ширекте күннің шығуы, солтүстік-батыс ширекте күннің батуы байқалады. Осы уақыттың басында күннің шығуы мен бату нүктелері солтүстікке, содан кейін қарама-қарсы бағытта қозғалады. 23 қыркүйекте дәл 21 наурыздағыдай Күн шығыстан шығып, батыстан батады. 23 қыркүйек пен 21 наурыз аралығында дәл осындай құбылыс оңтүстік-шығыс және оңтүстік-батыс ширегінде қайталанады. Күннің шығуы мен батуы нүктелерінің қозғалысы бір жылдық кезеңнен тұрады.

22 маусымда Күн ең жоғары кульминацияға ие болады, яғни аспан экваторы жазықтығының аспан меридианы түйіскен нүктеге жетеді, осы уақытта Күн экватордан жоғары болады (солтүстік жарты шарда). Бұл Күн (ең ұзақ) *жазғы күн тоқырауы* деп аталады. Келесі күндері Күн бірте-бірте төмен түсе бастайды. Ал ең төменгі кульминациясы 22 желтоқсанда болады, бұл *қысқы күн тоқырауы* деп аталады. 22 желтоқсан - ең қысқа күн, өйткені бұл күні Күннің көкжиектен өтетін жолы ең қысқа, кеш тұрып, ерте батады. Бұл уақытта Күн аспанның оңтүстік жарты шарында (аспан экваторының астында) болады.

Күннің аспан экваторынан солтүстікке (22 маусым) және оңтүстікке қарай (22 желтоқсан) ең үлкен қашықтығы $23^{\circ} 27'$ тең, яғни Күннің еңкеюі $+23^{\circ}27'$ -ден $-23^{\circ}27'$ -ге дейін өзгереді.

Аспан сферасында Күн эклиптика бойымен келесі негізгі нүктелері арқылы өтеді (1 кестені қараңыз):

Кесте 1. Күн эклиптика бойымен айналғандағы негізгі нүктелері

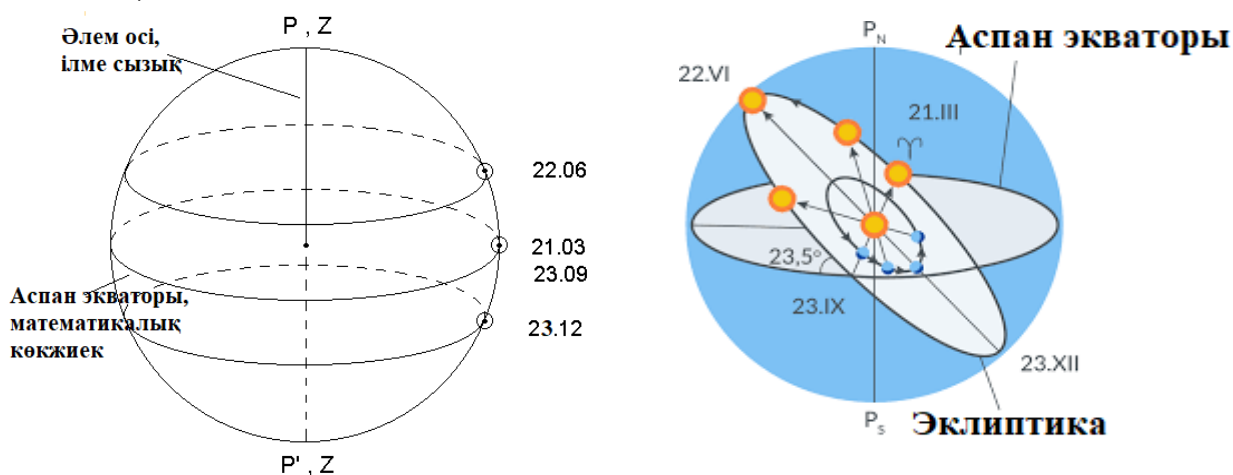
Негізгі нүктелердің атауы	Шамамен Күннің айналу нүктелері (осы күндерге сәйкес)	Экваторлық координатада	
		α	δ
Көктемгі күн мен түннің теңелуі	21 наурыз	0^h	0°
Жазғы күн тоқырауы	22 маусым	6^h	$23^{\circ}26' = +\varepsilon$
Күзгі күн мен түннің теңелуі	23 қыркүйек	12^h	0°
Қысқы күн тоқырауы	23 желтоқсан	18^h	$-23^{\circ}26' = -\varepsilon$

Күннің аспан сферасындағы тәуліктік траекториясын және жылдың белгілі бір күнінде оның географиялық ендік φ нүктесінде көкжиектен жоғары биіктігін (1а, 1ә-сурет) анықтау үшін қажет:

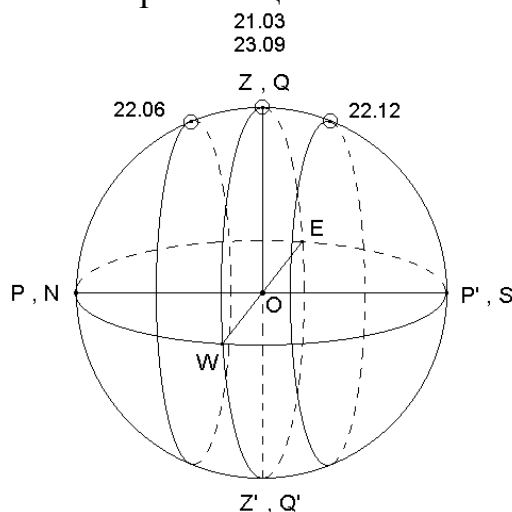
1. берілген φ ендігі үшін аспан сферасын салу (математикалық көкжиек, аспан экваторы және эклиптика шеңберлерін салу);

2. алдын ала астрономиялық күнтізбелерден жылдың белгілі бір күніндегі (<http://edu.zelenogorsk.ru/astron/calendar/2023/>) Күннің координаттарын жазып, содан кейін жұлдызды картадан сол күндегі Күннің эклиптика бойындағы орналасуын табу.

3. Күн арқылы өтетін тәуліктік параллельді (эклиптикадағы нүкте) аспан экваторына параллель жүргізу (көктемгі және күзгі күн мен түннің теңелу күндерінен басқа жылдың кез келген күндерінде күннің тәуліктік параллельдері аспан сферасының кіші шеңберлері болады) қажет.



Сурет 1 а. Жердің солтүстік полюсіндегі бір жыл бойы Күннің көрінетін қозғалысы



Сурет 1 ә. Жердің экваторындағы бір жыл бойы Күннің көрінетін қозғалысы

Жердің солтүстік жарты шарының барлық географиялық ендіктерінде (φ):

$$90^\circ > \varphi > \varepsilon$$

шартын қанағаттандыратын Күн әрқашан зениттің оңтүстігінде шарықтайтынын (жоғары кульминацияда болатынын) ескерсек, эклиптиканың экваторға еңкеюі мына формула арқылы анықтауға болады.

$$Z = \varphi - \delta$$

мұндағы Z - Күннің зениттік қашықтығы, φ - бақылау орнының ендігі, δ - Күннің еңкеюі.

Жазғы күн тоқырау күні Күннің еңкеюі максималды және $\delta = \varepsilon$ тең. Осы сәтте оның зениттік қашықтығы минималды болады, яғни

$$Z_{min} = \varphi - \varepsilon.$$

Демек, $\varepsilon = \delta_{max} = \varphi - Z_{min}$

Қысқы күн тоқырау күні Күннің зенитальдік қашықтығы максимум болады, ал ауытқуы минималды және $\delta = -\varepsilon$ тең болады.

Жердің солтүстік жартышарындағы географиялық ендігі φ болатын математикалық көкжиегінен Күннің ең жоғары және ең төмен биіктігі бір жыл бойы мынаған тең болады:

$$h^{max,min} = 90^\circ - \varphi + \varepsilon.$$

Экватордағы бақылаушы үшін $\varphi = 0^\circ$ тең, Күн зениттен барынша алыс болады. Күннің математикалық көкжиектен биіктігі ең төмен деңгейде болады:

$$h(\varphi = 0^\circ) = 90^\circ - \varepsilon = 66^\circ 34'$$

Эклиптиканың экваторға ε бұрышына еңкеюіне байланысты Күннің еңкеюі $-\varepsilon \leq \delta \leq +\varepsilon$ тең, жыл бойы Жер мен Күннің арақашықтығының өзгеруі (орбитаның эллипс тәрізді болуынан), кеңістікте Жер осінің бағытының сақталуы, Жер бетінің әртүрлі нүктелерін жарықтандыруы мен Күнмен жылыту жағдайларын

өзгеріп отырады. Бұл құбылыс Жердің климаттық белдеулерінің болуына және жыл мезгілдерінің өзгеруіне себеп болады.

Жыл мезгілдерінің өзгеруінің барлық мәселелерін қарастырған кезде Жердің Күнді айналып өтуін ғана емес, сонымен бірге Жердің тәуліктік айналуын да ескеру қажет. Жерді жарықтандырылған және жарықтандырылмаған жарты шарға бөлетін жазықтық күн сәулелеріне перпендикуляр екенін және Жердің ортасынан оның орбиталық жазықтығына қарай тартылған перпендикулярға айналу арқылы кеңістіктегі бағытын үздіксіз өзгертетінін жақсы түсіну керек. Жердің кеңістіктегі айналу осінің бағыты дерлік өзгеріссіз қалады, сондықтан Жердің полюстері күн мен түннің шекарасына қатысты әр түрлі позицияларда болады.

Климаттық белдеудердің астрономиялық белгілері:

1. Ыстық белдеуде жылына екі рет Күн бақылау пунктіннің зениті арқылы түстен кейін өтеді $\delta = \varphi$.

Жердің солтүстік жарты шарындағы ($\varphi = +23^{\circ}26'$) ыстық белдеудің осы нүктесі үшін (экватор мен солтүстік тропиктің арасында) Күн бірінші рет түсте зенит арқылы 21 наурыз бен 22 маусым аралығында өтеді, бұл кезде оның еңкеюі арта отырып, бақылау пунктіннің ендігіне тең мәнге жетеді. Екінші рет Күн сол бақылау пунктіннің зениті арқылы түстен кейін 22 маусымда жазғы күн тоқырауынан кейін 23 қыркүйекте күзгі күн мен түннің теңелу күніне дейін өтеді, дәл сол күні Күннің еңкеюі төмендеп, бақылау орнының географиялық ендігінің мәніне қайтадан оралады.

Жердің оңтүстік жарты шарындағы ($\varphi = -23^{\circ}26'$) ыстық белдеудің әрбір нүктесі үшін (экватор мен оңтүстік тропиктің арасында) Күн күзгі күн мен түннің теңелу күні мен көктемгі күн мен түннің теңелу күні арасындағы кезеңде зенит арқылы екі рет өтеді. Экваторда күн мен түннің теңелу күндерінде Күн зенитте болады.

2. Өте ыстық белдеудің шекараларында Күн жылына бір реттен тал түсте зенитте болады: Шаянның солтүстік тропигінде – 22 маусымда, Тауешкінің оңтүстік тропигінде – 22 желтоқсанда.

3. Жердің қоңыржай белдеулерінде келесі астрономиялық құбылыстарды байқауға болады (Жердің солтүстік және оңтүстігінде де):

- Күн жыл бойы шығып келе жатқан және батып бара жатқан шырақ ретінде байқалады және ол зенитте болуы мүмкін емес;

- Ымырттың (сумерки) үш түрі байқалады. Олардың ұзақтығы Күннің еңкеюіне және бақылау орнының географиялық ендігіне байланысты;

- ымырт неғұрлым қысқа болса, бақылау нүктесі экваторға жақынырақ болады.

ΔT ымырттың ұзақтығы мына формула бойынша есептеледі:

$$\cos(t + \Delta T) = \frac{\cos z - \sin \varphi \cdot \sin \delta}{\cos \varphi \cdot \cos \delta},$$

мұндағы, t – Күннің шығу немесе бату сәтіндегі сағыттық бұрыш:

$$\cos t = \frac{\cos 90^\circ 51' - \sin \varphi \cdot \sin \delta}{\cos \varphi \cdot \cos \delta}.$$

Бұл формула сағаттық бұрыштың екі мәнін береді: $t_1 = + t$ Күннің батуына, $t_1 = - t$ Күннің шығуына сәйкес келеді.

Күннің еңкеюі астрономиялық күнтізбелерден алынады (құбылыстың пайда болған күні); z ымырттың (таң ату сәтінің) аяқталу кезіндегі мәні алынады (2 кестені қараңыз):

Ымырттардың (таң ату немесе таңсәрі) түрлері бойынша қосымша ақпаратты осы сілтемеден көре аласыз <https://starwalk.space/ru/infographics/twilight-and-magic-hours>.

Кесте 2. Ымырттардың түрлері

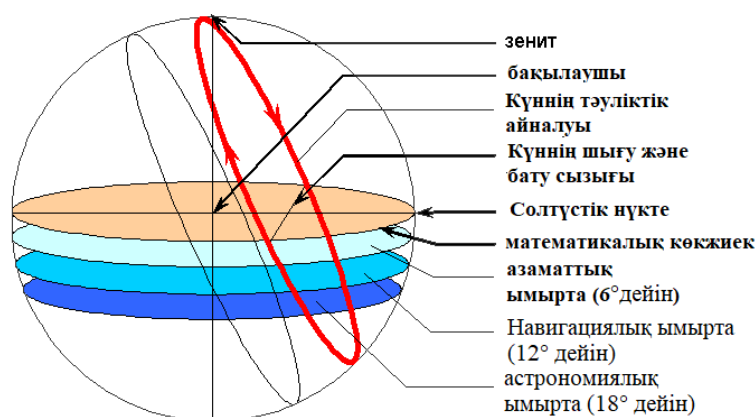
Ымырттардың (таңсәрілердің) түрлері	Мәндері (ымырттардың (таңсәрілердің) соңында)		φ (min)
	z	δ	
Азаматтық	97°	$\geq 83^\circ - \varphi$	$\geq 59^\circ 33'$
Навигациялық	102°	$\geq 78^\circ - \varphi$	$\geq 54^\circ 33'$
Астрономиялық	108°	$\geq 72^\circ - \varphi$	$\geq 48^\circ 33'$
«Ақ түндер» (азаматтық кешкі ымырттардың таңертеңгі ымырттарға жалғасады)	$< 97^\circ$	$\geq 83^\circ - \varphi$	$\geq 59^\circ 33'$

Осылайша, «ақ түндер» құбылысы бүкіл түн бойы созылатын азаматтық ымырттармен (таңсәрілермен) сипатталады.

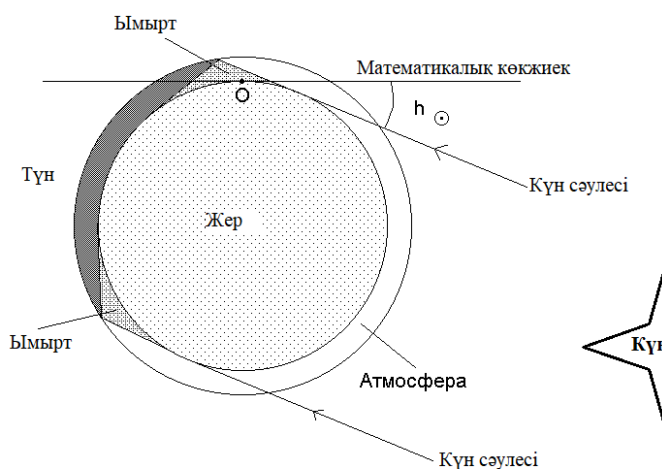
«Ақ түндер» құбылысына ұқсас «қара түн» түсінігін енгізуге болады, онда таңғы ымырттар (таңсәрілер) кешкі ымырттарға (таңсәрілерге) жалғасады.

Астрономиялық ымырттар (таңсәрілер) (2, 3 - сурет) $\varphi \geq 48^{\circ}33'$ географиялық ендіктерінде бүкіл түн бойы жалғасады.

Жаздың қараңғы түндері күн тоқырау кезеңіне жақын тек $\varphi \leq 48^{\circ}33'$ ендігінде ғана мүмкін болады.



Сурет 2. Ымырттардың (таңсәрілердің) түрлері



Сурет 3. Ымырт (таңсәрі) құбылысы

4. Жердің суық белдеулерінің (солтүстік және оңтүстік) астрономиялық белгілері – үздіксіз полярлық күннің (ҮПК) және үздіксіз полярлық түннің (ҮПТ) болуымен ерекшелінеді (3-кестені қараңыз):

Кесте 3. Полярлық күн мен түннің орын алу шарттары

Құбылыс	Орын алу шарттары	φ (min)
Үздіксіз полярлық күн	$\delta \geq 89^{\circ}09' - \varphi$	$\geq 65^{\circ}42'$
Үздіксіз полярлық күн	$\delta \geq \varphi - 90^{\circ}51'$	$\geq 67^{\circ}24'$

Берілген пункттегі үздіксіз полярлық күннің және үздіксіз полярлық түннің басталуын, аяқталуын және ұзақтығын есептеу үшін:

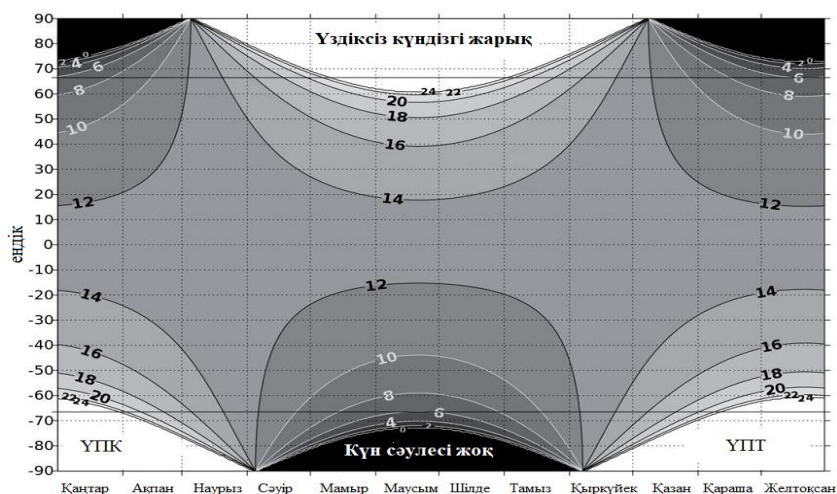
- тиісті кестені қолдану (жоғарыдағы кестені қараңыз) және берілген ендікте құбылыстың мүмкіндігін анықтау;

- берілген ендікті біле отырып, осы жылға арналған астрономиялық күнтізбе бойынша Күннің еңкеюі географиялық ендікке тең болатын күнді табу қажет.

Табылған күндер құбылыстың басталу және аяқталу күндері, ал олардың арасындағы тәулікпен өрнектелген аралық құбылыстың ұзақтығын құрайды.

Авиацияда *тәуліктің жарық уақыты* термині қолданылады. Бұл уақыт күннің ұзақтығына (яғни Күн шыққаннан күн батқанға дейінгі уақыт) және азаматтық ымырттың ұзақтығына тең. Кейбір құжаттарда азаматтық ымырттың орнына күн шыққанға дейін және күн батқаннан кейін бірдей 30 минут уақыт қосылады. Табиғи жарық сәттерінің уақытын анықтау үшін күнтізбелік анықтамалық, арнайы кестелер немесе диаграммалар, ААЖ (авиациялық астрономиялық жылнама) қолданылады, онда деректер теңіз деңгейінде орналасқан бақылаушыға арналған.

Жердегі рефракцияның әсері тәуліктің жарық бөлігінің ұзақтығын (барлық ендіктер үшін) және ҮПТ-мен салыстырғанда ҮПК ұзақтығын арттырады (жер полюстерінде-бір айға жуық) (4-сурет).



Сурет 4. Жыл мезгіліне байланысты жарық күннің ұзақтығы

3-суретте келтірілген (<https://voshod-solnca.ru/articles/%D1%81hto-takoe-sumerki.html>) диаграмманың көмегімен ымырт (таңсәрілер) қай ендіктерде және қай мезгілдерде

тууы, сондай-ақ жарық күннің (тұтас сызықтар мен сандар) ұзақтығын (сағаттарда) бақылауға болады.

Астана қаласы үшін жарық күннің ұзақтығын, сондай-ақ ымырттың ұзақтығын төмендегі сілтемеден көре аласыздар: <https://dateandtime.info/ru/citysunrisesunset.php?id=1526273>.

Жердің орбита бойымен біркелкі емес қозғалысының салдары – Күннің эклиптика бойымен біркелкі емес көрінетін жылдық қозғалысы (4 және 5 кестелерді қараңыз) болып табылады:

Кесте 4. Эклиптика бойымен Күннің тәуліктік қозғалысы

Жылдың кезеңі	Кезеңнің ұзақтығы	Осы кезеңде Күн жүріп өтетін эклиптика доғасының ұзындығы	Эклиптика бойымен Күннің тәуліктік қозғалысының орташа бұрыштық жылдамдығы
көктем-жаз (21 наурыздан 23 қыркүйекке дейін)	186 ^d	180°	0°57'11"
күз-қыс (23 қыркүйектен 21 наурызға дейін)	179 ^d	180°	1°01'11"

Көріп отырғаныңыздай Күн қыста жылдамырақ, жазда баяу қозғалады

Кесте 5. Жердің орбитадағы орналасуы

Жердің орбитадағы орналасуы	Жердің Күннен қашықтығы, км	Тәулігіне орбитадағы Жердің бұрыштық жылдамдығы	Күннің көрінетін бұрыштық диаметрі
Перигелийдегі Жер (шамамен 2-3 қаңтарда)	ең аз, 147 000 000	ең көп, 1°01'11"	ең көп, 32'35"
Афелийдегі Жер (шамамен 3-5 шілде)	ең көп, 152 000 000	ең аз, 0°57'11"	ең аз, 31'30"
Жер Күннен орташа қашықтықта (шамамен 3 сәуір және 5 қазан)	орташа, 149 000 000	орташа, 59'11"	орташа, 59'11"

Жұмыстың орындалу барысы:

1. Жұлдызды аспанның жылжымалы картасынан белгілі бір күнде Күн орналасқан шоқжұлдызды анықтаңыз. Эклиптика бойымен Күннің көрінетін қозғалысын қадағалаңыз. Күннің

экваторлық координаттарының мәндерін шамамен күн мен түннің теңелу күндерінде, сондай-ақ 1 қаңтар, 12 сәуір, 16 тамыз және 4 қазан күндерінде жазыңыз.

2. Астрономиялық күнтізбе бойынша жыл бойына Күннің еңкеюінің өзгеруін қадағалаңыз. Берілген жылы еңкеюінің максималды, минималды және нөлдік мәндерімен деректерді жазыңыз.

3. Әр жылдағы бір күнде Күннің ауытқуын салыстырыңыз.

4. Әр түрлі географиялық ендіктерде (Жердің географиялық полюстеріне жақын, экваторда, орта ендіктерде) Күннің әр мезгілінде көрінетін тәуліктік қозғалысының жолын қадағалаңыз (аспан сферасының моделін қолдана отырып) (1 а,ә суреттер).

5. Белгілі бір уақытта аспан сферасының моделі бойынша Күннің көлденең және экваторлық координаттарын анықтаңыз. Жұлдызды аспанның жылжымалы картасы бойынша Күннің шығу мен бату нүктелерін, бақылау пунктінің ендігіне тәулік пен түннің ұзақтығын шамамен анықтаңыз. Берілген ендік үшін жұлдыздардың көтерілу және бату нүктелері іс жүзінде өзгермейтініне және жыл бойына Күннің шығуы мен батуы математикалық көкжиектің әртүрлі нүктелерінде болатынына көз жеткізіңіз.

6. Алынған деректерді онлайн калькуляторлардың: <https://planetcalc.ru/300/>, <https://webtun.com/webservices/873-suncalc-kalkulyator-voshoda-i-zakata-solnca.html> немесе GetSunRiseSet бағдарламасының көмегімен алынған мәліметтермен салыстырыңыз.

Бақылау сұрақтары:

1. Күннің еңкеюінің қандай мәндерінде Мурманскіде ($\varphi = +68^{\circ}58'$) және Антарктиданың «Мирный» станциясында полярлық күн мен полярлық түн басталатынын есептеңіз; осы пункттердегі полярлық күн мен түннің ұзақтығын анықтаңыз.

2. Күн қандай ендіктерде 22 маусымда батпайтын, ал 22 желтоқсанда шықпайтын болады?

3. 22 маусым мен 22 желтоқсанда Күн қандай ендіктерде зенитте болады? Зениттегі Күннің шарықтау шегі шарттарын анықтаңыз.

4. Жыл бойына бақылау пунктінде Күннің көкжиектен ең үлкен және ең кіші биіктігін есептеңіз (еңкеюді есепке алмағанда).

5. Күн мен түннің теңелу сәтінде күн шығыс нүктесінде көтерілді. Ол математикалық көкжиектің қай нүктесінде батады?

6. Күннің зениттік қашықтығы қашан 90° -қа тең болады? Оның азимуты қашан 0° -қа тең?

7. Эклиптика бойымен бір жылдық қозғалысына байланысты Күн қай уақытта өз диаметрінің мәніне ауысады?

8. Күн мен түннің теңелу және күннің шарықтау күндері Оңтүстік жартышарда Күн қандай биіктіктен көрінеді?

9. Біздің қаламызда Күн көтерілуі мүмкін ең үлкен талтүстік биіктікті анықтаңыз (Күннің еңкеюінің астрономиялық күнтізбеден алыңыз).

10. Күннің биіктігі 22 маусымда талтүсте $69^\circ 38'$ болатын Жердің пунктіндегі әлем полюсінің биіктігі қандай? 22 желтоқсанда талтүсте дәл сол жердегі Күннің биіктігі қандай?

11. Жыл сайын наурызда дәл бір күнде Күн көктемгі күн мен түннің теңелу нүктесінен өтеді ме, егер жоқ болса онда неліктен және осы күн қандай шектерде өзгеруі мүмкін?

12. Күннің зениттік өтуі мүмкін нүктелердің географиялық ендіктері қандай мәндерге ие болады?

13. Антананариву қаласында ($\varphi = -18^\circ$) қай күні Күн зенитте шарықтайды?

14. Ресейдің аралдық полярлық станцияларының бірінде полярлық күн дәл 100 күнге созылады. Осы полярлық станция орналасқан ендікті анықтаңыз.

15. Санкт-Петербургтегі ($\varphi = +59^\circ 57'$) ақ түндердің ұзақтығын анықтаңыз.

Әдебиеттер:

1. Кононович Э.В., Мороз В.И. Общий курс астрономии: Учебное пособие / – М.: Едиториал УРСС, 2004. – 544 с.

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

3. Астрономический календарь на 2019 год. Справочное издание, серия «Астробиблиотека» / Составитель Козловский А.Н. – АстроКА, 2018. – 88 с.

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