

Міністерство освіти і науки України
Одеський національний університет імені І. І. Мечникова

О. О. Панько
О. Г. Сергієнко

ЗАГАЛЬНА АСТРОНОМІЯ

Навчальний посібник

Одеса
ОНУ
2020

УДК 52(075.8)
П16

Рекомендовано до друку вченою радою
ОНУ імені І. І. Мечникова.
Протокол № 4 від 17 грудня 2019 р.

Рецензенти:

- **С. М. Андрієвський**, доктор фізико-математичних наук, професор, директор НДІ «Астрономічна обсерваторія» Одеського національного університету імені І. І. Мечникова;
- **І. Л. Андронов**, доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач кафедри математики, фізики та астрономії Одеського національного морського університету;
- **С. Г. Кузьменков**, кандидат фізико-математичних наук, доктор педагогічних наук, професор, професор кафедри фізики та методики її навчання Херсонського державного університету

Панько О. О.

П16 Загальна астрономія: навчальний посібник / О. О. Панько, О. Г. Сергієнко ; Одес. нац. ун-т. ім. І. І. Мечникова. – Одеса : ОНУ, 2020. – 138 с.

ISBN 978-617-689-390-5

Навчальний посібник розрахований на студентів фізико-математичного напрямку підготовки класичних університетів, вищих педагогічних навчальних закладів, а також учителів і учнів, які займаються поглибленим вивченням астрономії.

Посібник структурований відповідно до навчального плану та навчальної програми курсу «Загальна астрономія» та містить велику кількість завдань, що сприяють засвоєнню матеріалу. У кожному завданні для самостійної роботи сформульовано його мету, наведено необхідні теоретичні відомості та контрольні запитання. Більшість завдань розроблено авторами посібника. Ілюстративний матеріал, який використовується для виконання завдань, отримано з відкритих джерел мережі Internet та має відповідні посилання.

УДК 52(075.8)

ISBN 978-617-689-390-5

© Панько О. О., Сергієнко О. Г., 2020

© Одес. нац. ун-т. ім. І. І. Мечникова, 2020

Зміст

Передмова	4
ТЕМА № 1	
СУЗІР'Я ТА ПОЗНАЧЕННЯ ЗІР НА НЕБІ.	5
Тема № 2	
ОСНОВНІ ЛІНІЇ І ТОЧКИ НЕБЕСНОЇ СФЕРИ. СИСТЕМИ КООРДИНАТ. ДОБОВИЙ РУХ НЕБЕСНОЇ СФЕРИ. КУЛЬМІНАЦІЇ СВІТИЛ.	11
Тема № 3	
ВИВЧЕННЯ ЗОРЯНОГО НЕБА. ЗОРЯНІ АТЛАСИ. ВІРТУАЛЬНІ ПЛАНЕТАРІЇ.	18
Тема № 4	
ЧАС ТА КАЛЕНДАР	29
Тема № 5	
РУХ ТІЛ СОНЯЧНОЇ СИСТЕМИ.	39
Тема № 6	
ВИЗНАЧЕННЯ ЛІНІЙНИХ РОЗМІРІВ ДЕТАЛЕЙ ПОВЕРХНІ ТІЛ СОНЯЧНОЇ СИСТЕМИ.	47
Тема № 7	
ТЕЛЕСКОПИ, ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТА ОПТИЧНІ СХЕМИ.	57
Тема № 8	
ВИДИМІ ТА АБСОЛЮТНІ ЗОРЯНІ ВЕЛИЧИНИ. ВИЗНАЧЕННЯ ВІДСТАНЕЙ ДО ЗІР. МОДУЛІ ВІДСТАНЕЙ.	70
Тема № 9	
ЗОРІ ТА ЇХНЯ ЕВОЛЮЦІЯ ДІАГРАМА ГЕРЦШПРУНГА – РАССЕЛА.	75
Тема № 10	
ГАЛАКТИКИ. БУДОВА ТА КЛАСИФІКАЦІЯ.	84
Додатки	94
Література	119
Предметний покажчик	121
Покажчик імен.	134

ПЕРЕДМОВА

Курс «Загальна астрономія» входить до нормативної частині освітньо-професійної/освітньо-наукової програми підготовки бакалаврів напряму 104 – «фізика та астрономія». Курс є вступним до астрономічного циклу дисциплін. Водночас він дає можливість студентам, що обирають спеціалізацію «фізика» у межах напряму, ознайомитися із базовими уявленнями про Всесвіт на різних відстанях від спостерігача: від навколоземного простору до найвіддаленіших об'єктів – квазарів, та на масштабах від елементарних частинок до скупчень галактик, галактик, галактичних кластерів, тощо. Курс охоплює видимі та істинні рухи небесних тіл, планети, Сонце та Сонячну систему, зорі, галактики, еволюцію окремих елементів та Всесвіту в цілому, а також методи дослідження астрономічних об'єктів. Для студентів, що обирають спеціалізацію «астрономія», цей курс є оглядовим, кожна з тем у подальшому навчанні детально розглядається в окремому курсі.

Відповідно до навчальних програм та планів дві третини часу, що призначено на засвоєння матеріалу курсу, припадає на самостійну роботу студента. Разом з тим особливості викладання дисциплін астрономічного циклу потребують зворотного зв'язку між викладачем та студентом. Регулярне та своєчасне виконання різноманітних завдань, які пропонуються у посібнику, дають змогу не тільки засвоїти основні уявлення про Всесвіт, але ще й робити це на підставі спеціально відібраного реального спостережного матеріалу.

Завдання розташовано у посібнику відповідно до програми курсу та лекційного матеріалу, але без жорсткої прив'язки до кожної лекції. Всі необхідні для роботи довідкові відомості наведено у посібнику. Для кожної теми на початку сформульовано мету та наведено теоретичні відомості, після яких сформульовано контрольні питання. Саме під час виконання завдань кожної теми студенти мають можливість застосовувати теоретичні знання, які отримують на лекціях. Відповіді для завдань не наводяться. В ході виконання завдань формуються вміння, навички та компетенції відповідно до вимог програми підготовки бакалаврів. Якість виконання завдань студент може оцінити під час консультації з викладачем.

ТЕМА № 1

СУЗІР'Я ТА ПОЗНАЧЕННЯ ЗІР НА НЕБІ

МЕТА ЗАВДАННЯ: вивчити міжнародні назви сузір'їв та відповідні скорочення назв; вивчити найменування окремих зір.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Зоряне небо – це вікно, через яке ми бачимо Всесвіт. Залежно від гостроти зору спостерігача неозброєним оком у безмісячну ясну ніч можна розрізнити близько 2500–3000 зір над горизонтом, тобто на половині неба. Вся небесна сфера містить близько 6000 зір, видимих неозброєним оком. Вміння орієнтуватися серед величезної кількості різноманітних об'єктів зоряного неба – перша практична задача науки про Всесвіт – астрономії. Воно однаково необхідне як професійному астрономові або аматорові астрономії, так і кваліфікованому викладачеві цього предмету в школі.

Взаємні розташування зір на небі змінюються надзвичайно повільно. Їх можна було б помітити неозброєним оком лише протягом тисячоліть. Зорі та їх групи – сузір'я вже в глибокій давнині служили зручними орієнтирами під час подорожей і для визначення часу. Практика об'єднувати найбільш яскраві зорі в групи і фігури – сузір'я і давати їм найменування також склалася ще в давнині. Іноді невелика група зір об'єднується під загальною назвою, відмінною від назви самого сузір'я. Це так звані астеризми. Так, наприклад, всім з дитинства знайомий Великий Віз (Великий Ківш) є частиною сузір'я Великої Ведмедиці, Літній Трикутник – об'єднує найяскравіші зорі трьох сузір'їв Ліри, Лебедя та Орла. Астеризмом можна назвати й Плеяди (Стожари, Волосожари), що розташовані у сузір'ї Тельця, але це не зовсім коректно. Плеяди не є випадковим згущенням зір на небі, ця фізично пов'язана група зір є розсіяним зоряним скупченням.

У сучасну епоху поняття сузір'я, що історично склалося, втратило свій первинний сенс. Нині сузір'я – це не та або інша фігура з найбільш яскравих зір, а ділянки зоряного неба з абсолютно конкретними межами між ними. Межі сузір'їв задають у просторі тілесний кут з вершиною в центрі небесної сфери. Все, що перебуває в межах цього тілесного кута (незалежно від відстані до об'єкта), належить до даного сузір'я. Сучасні межі сузір'їв встановлені угодою, прийнятою на з'їзді

Міжнародного астрономічного союзу (МАС) в 1922 році. З'їзд відхилив пропозицію скасувати поняття сузір'їв і замінити їх стандартними чотирикутниками на небі. В ухваленому рішенні зберегти в ужитку астрономії сузір'я було увічнено спадщину стародавньої культури людей та історії розвитку астрономічних знань. На з'їзді був переглянутий список сузір'їв і межі між ними. Було скасовано 27 невдалих і залишене 88 таких, що охоплюють усе небо. У низці випадків нелегко з'ясувати, з яких мотивів виникла та або інша назва сузір'я. В інших випадках з глибин століть до нас дійшли іноді вельми поетичні легенди, що послужили «підставою» для найменування сузір'я.

З 88 сучасних сузір'їв 47 були відомі ще задовго до нашої ери. Їх назви згадуються в творах низки стародавніх авторів, таких як Гіппарх, Евдокс, Гезіод, Фалес та ін. Серед них сузір'я: Андромеда, Близнята, Велика Ведмедиця, Великий Пес, Водолій, Візничий, Вовк, Волопас, Волосся Вероніки, Ворон, Геркулес, Гідра, Діва, Дельфін, Дракон, Жертовник, Заєць, Змієносець, Кассіопея, Кит, Козоріг, Лебідь, Лев, Ліра, Мала Ведмедиця, Малий Кінь, Овен, Орел, Оріон, Пегас, Персей, Рак, Риби, Північна Корона, Скорпіон, Стріла, Стрілець, Телець, Терези, Трикутник, Кентавр (Центавр), Кефей (Цефей), Чаша, Ерідан, Південний Хрест, Південна Корона, Південна Риба.

Друга група сузір'їв, вперше згадувана Йоганном Байером в його атласі зоряного неба «Уранометрія» або «*Uranometria: omnium asterismorum continens schemata, nova methodo delineata, aereis laminis expressa*» (1603 р.), в своїх назвах відобразила епоху великих географічних відкриттів, екзотику раніше невідомих країн і народів. Це – Журавель, Золота Риба, Індіанець, Летюча Риба, Павич, Райський Птах, Тукан, Фенікс, Хамелеон, Південна Гідра, Південний Трикутник.

Третя група сузір'їв вперше з'являється в списку Яна Гевелія (кінець XVII ст.) – Голуб, Гончі Пси, Одноріг, Жираф, Лисичка, Малий Лев, Муха, Рись, Секстант, Щит. Четверта група сузір'їв (південна півкуля) введена Лакайлем (1752 р.) – Живописець, Мікроскоп, Насос, Октант, Піч, Різець, Сітка, Скульптор, Столова Гора, Телескоп, Циркуль, Годинник. Їх також показано в атласі Уранографія або «*Uranographia: totum caelum stellatum*», який був виданий у 1690 році вже після смерті Гевелія його дружиною Ельжбетою.

Зважаючи на величезність об'єкта Всесвіту, в практиці астрономічних досліджень склався активний обмін публікаціями різних учених і обсерваторій миру. Ця обставина послужила підставою для уніфікації вживаних назв і позначень шляхом вживання латинських повних і стандартно-скорочених назв сузір'їв як міжнародних. Значення цих

назв виявляється необхідним під час користування практично будь-якою астрономічною літературою.

З початку XVII ст. (в «Уранометрії» Байера в 1603 р.) зорі кожного сузір'я почали позначати буквами грецького алфавіту α , β , γ , приблизно в порядку зменшення їх блиску. У 1712–1725 рр. в тритомному зоряному атласі Д. Флемстіда (Англія) зорі позначалися арабськими цифрами в межах кожного сузір'я в порядку зростання їх прямих піднесень. Ці позначення з додаванням назви сузір'я широко застосовуються і донині.

Власні назви мають 275 яскравих зір; з них 80% були надані арабами. Частіше це були назви частин тіла тих фігур, які давали назву всьому сузір'ю. Наприклад, Бетельгейзе – «плече велетня», Денебола – «хвіст лева», Рас Альхаге (а Змієносця) – «голова Змієносця» і так далі. Слабкі зорі позначаються номерами зоряних каталогів, в які вони занесені, або їх екваторіальними координатами. Вельми вживано позначення зір їх номерами в каталозі Боннського огляду неба (Bonner Durchmusterung, BD, епоха каталогу – 1855 р.). Приклад: BD +4° 4048 – зоря № 4048 у зоні від +4°0' до +5°0' каталогу Боннського огляду.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Дати визначення поняттю «сузір'я».
2. Чим сузір'я відрізняється від астеризму? Які астеризми Вам відомі?
3. Чим астеризм відрізняється від зоряного скупчення?
4. У яких сузір'ях зоря, що позначена буквою α , не є найяскравішою?
5. Яка з двох зір – 1 Тау або 19 Тау – раніше сходить? Чому Ви так вважаєте?
6. Чи можуть позначення: α And, 1 Андромеди, BD +41°4664, FK 5 869, HD217675, HIP 113726, HR8762, SAO 52609 належати одній і тій самій зорі? Відповідь пояснити.

ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

1. Виписати до робочого зошиту відповіді на контрольні запитання.
2. Навчитися орієнтуватися у стандартних позначеннях зір.
3. Вивчити латинські назви та скорочену форму назв сузір'їв з таблиці 1.1 (сузір'я, які видно на широтах України), або за бажанням з Додатку 1, який містить повний перелік – 88 сузір'їв.
4. Виписати до робочого зошиту та навчитися використовувати власні імена яскравих зір з таблиці 1.2.

Таблиця 1.1

**НАЗВИ СУЗІР'ІВ,
ЯКІ ВИДНО НА СЕРЕДНІХ ШИРОТАХ ПІВНІЧНОЇ ПІВКУЛІ**

Українська назва	Латинська назва	Позна-чення	Латинська вимова
Андромеда	Andromeda	And	андромеда
Близнята	Gemini	Gem	геміні
Велика Ведмедиця	Ursa Major	UMa	урса майор
Великий Пес	Canis Major	CMa	каніс майор
Візничий	Auriga	Aur	ауріґа
Водолій	Aquarius	Aqr	акваріус
Волопас	Bootes	Boo	боотес
Волосся Вероніки	Coma Berenices	Com	кома береніцес
Ворон	Corvus	Crv	корвус
Геркулес	Hercules	Her	геркулес
Гідра	Hydra	Hya	гідра
Гончі Пси	Canes Venatici	CVn	канес венатіці
Дельфін	Delphinus	Del	делфінус
Діва	Virgo	Vir	вірго
Дракон	Draco	Dra	драко
Ерідан	Eridanus	Eri	еріданус
Жирафа	Camelopardalis	Cam	камелопардаліс
Заєць	Lepus	Lep	лепус
Зміносець	Ophiuchus	Oph	офіухус
Змія	Serpens	Ser	серпенс
Кассіопея	Cassiopeja	Cas	кассіопея
Кефей (Цефей)	Cepheus	Cep	цефеус
Кентавр (Центавр)	Centaurus	Cen	центаурус
Кит	Cetus	Cet	цетус
Козоріг	Capricornus	Cap	капрікорнус
Компас	Pyxis	Pyx	піксіс
Корма	Puppis	Pup	пуппіс
Лебідь	Cygnus	Cyg	ціґнус
Лев	Leo	Leo	лео

Українська назва	Латинська назва	Позна-чення	Латинська вимова
Лисичка	Vulpecula	Vul	вупекула
Ліра	Lyra	Lyr	ліра
Мала Ведмедиця	Ursa Minor	UMi	урса мінор
Малий Кінь	Equuleus	Equ	еквулеус
Малий Лев	Leo Minor	LMi	лео мінор
Малий Пес	Canis Minor	CMi	каніс мінор
Овен	Aries	Ari	арієс
Одноріг	Monoceros	Mon	моноцерос
Орел	Aquila	Aql	аквіла
Оріон	Orion	Ori	оріон
Пегас	Pegasus	Peg	пегасус
Персей	Perseus	Per	персеус
Південна Риба	Piscis Austrinus	PsA	пісцис аустрінус
Північна Корона	Corona Borealis	CrB	корона бореаліс
Піч	Fornax	For	форнакс
Рак	Cancer	Cnc	канцер
Риби	Pisces	Psc	пісцес
Рись	Lynx	Lyn	лінкс
Секстант	Sextans	Sex	секстанс
Скорпіон	Scorpius	Sco	скорпіус
Скульптор	Sculptor	Scl	скульптор
Стріла	Sagitta	Sge	сагітта
Стрілець	Sagittarius	Sgr	сагіттаріус
Телець	Taurus	Tau	таурус
Терези	Libra	Lib	лібра
Трикутник	Triangulum	Tri	тріангулум
Чаша	Crater	Crt	кратер
Щит	Scutum	Sct	скутум
Ящірка	Lacerta	Lac	лацєрта

Таблиця 1.2

ВЛАСНІ ІМЕНА ДЕЯКИХ ЯСКРАВИХ ЗІР

Алгеніб	γ Peg	Канопус	aCar
Алголь	bPer	Капелла	aAur
Аліот	eUMa	Кастор	aGem
Альбірео	bCyg	Майя	20 Tau
Альдебаран	aTau	Маркаб	aPeg
Альдерамін	aCep	Мерак	bUMa
Алькор	z2UMa	Меропа	23 Tau
Альтаір	aAql	Міра	oCet
Альціона	hTau	Міррах	bAnd
Антарес	aSco	Міцар	z1UMa
Арктур	aBoo	Плейона	28 Tau
Астеропа	21Tau	Полярна	aUMi
Атлас	27Tau	Поллукс	bGem
Беллатрікс	gOri	Проціон	aCMi
Бенетнаш	hUMa	Регул	aLeo
Бетельгейзе	aOri	Рігель	bOri
Вега	aLyr	Сіріус	aCMa
Денеб	aCyg	Спіка	aVir
Денебола	bLeo	Тайгета	19Tau
Дубхе	aUMa	Фомальгаут	aPsA
Гемма	aCrB	Електра	17Tau

Тема № 2

ОСНОВНІ ЛІНІЇ І ТОЧКИ НЕБЕСНОЇ СФЕРИ. СИСТЕМИ КООРДИНАТ. ДОБОВИЙ РУХ НЕБЕСНОЇ СФЕРИ. КУЛЬМІНАЦІЇ СВІТИЛ

МЕТА ЗАВДАННЯ: ознайомлення з основними лініями та точками небесної сфери. Ознайомлення з принципами створення систем координат на небесній сфері. Вивчення добового руху світил.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Небесна сфера

Поняття «небесна сфера» пов'язане з тим, що в разі погляду на небо неозброєним оком відстані до зір оцінити неможливо. До того ж, уява про сферу як ідеальну фігуру наводила на думку, що небесні об'єкти – зорі – мають бути розташовані саме на сфері. Для задач вимірювання кутових відстаней між зорями таке наближення є корисним. З такої уяві про розташування зір на деякій сфері і походить визначення небесної сфери: це сфера довільного радіуса з центром у точці спостереження. Точка спостереження пов'язана зі спостерігачем: її положення відповідає ведучому оку спостерігача. Наочна об'ємна модель небесної сфери показана на рис. 1.2.

Всі зорі, які спостерігаються, беруть участь в рівномірному добовому обертанні зі сходу на захід, тобто за годинниковою стрілкою для спостерігача, який дивився б на небесну сферу від Полярної зорі (а Малої Ведмедиці), і їх взаємне розташування на небесній сфері з часом не змінюється.

Небесна сфера з її основними точками, лініями і площинами зображена на рис. 2.2, де буквою O позначений центр сфери, тобто точка, в якій перебуває око спостерігача; P та P' – відповідно північний і південний полюси світу; PP' – вісь світу – уявна пряма, навколо якої небосхил здійснює повний оберт за добу; $QWQ'E$ – небесний екватор – велике коло, площина якого проходить через центр сфери перпендикулярно до осі світу. Лінією екватора небесна сфера поділяється

на північну і південну півсфери; Z і Z' – zenit і надир – точки, в яких вертикальна лінія перетинається з небесною сферою; $NESW$ – математичний горизонт – велике коло, площина якого перпендикулярна до вертикальної лінії. Небесний меридіан зображується великим колом, що проходить через полюси світу і zenit. Він перетинає математичний горизонт у точках півночі (N) і півдня (S).

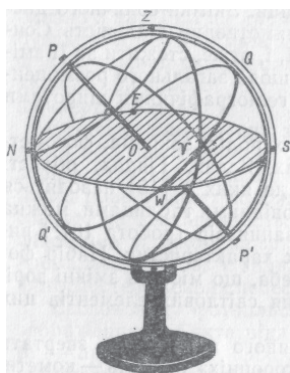


Рис. 2.1. Модель небесної сфери

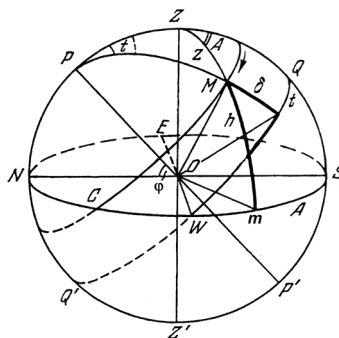


Рис. 2.2. Небесна сфера. Горизонтальна та перша екваторіальна системи координат

На рис. 2.3 показано екліптику – велике коло небесної сфери, по якому відбувається видимий річний рух центра Сонця серед зір проти годинникової стрілки. Екліптика нахилена до небесного екватора під кутом $\epsilon = 23^\circ 27'$ і перетинається з ним у точках весняного \wedge і осіннього d рівнодень (астрологічні знаки Овен та Терези). Точки літнього та зимового сонцестоянь позначені як a та g (відповідно знаками Рака та Козорога). Для спрощення символ точки весняного \wedge , який використовується найчастіше, замінюють на грецьку букву γ .

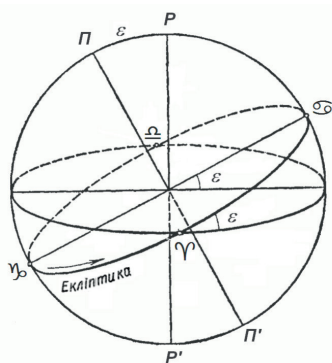


Рис. 2.3. Положення екліптики відносно небесного екватора та особливі точки екліптики

Нині особливі точки екліптики розташовані в інших сузір'ях, це пов'язано з прецесією земної осі. Зокрема, точка весняного рівнодення перебуває у сузір'ї Риб.

Річний рух Сонця по екліптиці, а також видиме добове обертання сузір'їв є відповідно наслідками орбітального руху Землі навколо Сонця і обертання її навколо власної осі в напрямку проти годинникової стрілки.

Системи небесних координат

Системи координат на небесній сфері визначаються за єдиним алгоритмом: обирається якась виділена площина, яка призначається головною. Можна також обрати напрямок, що буде головним. Головний напрямок та головна площина системи координат перпендикулярні один одному. Назва системи координат пов'язана з назвою головної площини. Один з кутів, що визначає положення точки на небесній сфері, це кут між головною площиною та радіус-вектором світила, інший – двогранний кут вимірюється в головній площині. Положення будь-якого світила на небесній сфері в конкретний момент часу може бути цілком визначене цими двома кутами в будь-якій з прийнятих систем небесних координат: горизонтальній, екваторіальній, екліптичній, галактичній, супергалактичній.

Горизонтальна система координат. Перша в історичному сенсі найпростіша система координат – **горизонтальна система**, в якій положення світила на небесній сфері визначають двома сферичними координатами – висотою h і азимутом A (рис. 2.4). Головною площиною в цій системі є площина горизонту, головним напрямком – вертикальна лінія $ZZ\zeta$. Велике півколо, що проходить через зеніт та світило, називають *вертикалом* світила. Виходячи з цього визначення, небесний меридіан можна назвати *вертикалом, який проходить через точки зеніту та надиру*. Вертикал, що проходить через точки сходу та заходу, також має власну назву: *перший вертикал*.

Висота h – це кут між площиною математичного горизонту і напрямком на світило. Вона вимірюється дугою $\overset{\frown}{Mm}$ (рис. 2.4) і відлічується від площини математичного горизонту. Висота h набуває значення від 0° до $+90^\circ$ у бік зеніту і від 0° до -90° у бік надиру.

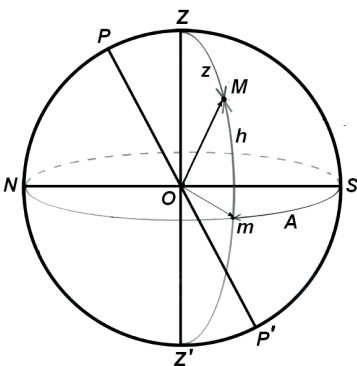


Рис. 2.4. Горизонтальна система координат

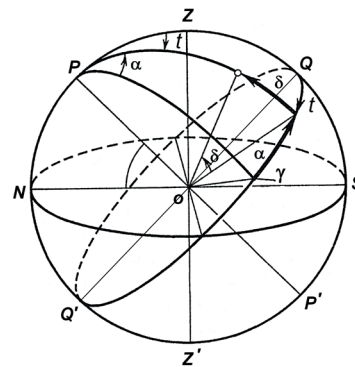


Рис. 2.5. Перша та друга екваторіальні системи координат

Для деяких задач висоту можна замінити зенітною відстанню z , тобто кутом між напрямком на зеніт та радіус-вектором світила. Очевидно, що:

$$h + z = 90^\circ \quad (2.1)$$

Це співвідношення справедливе і для від'ємних висот, оскільки z приймає значення від 0° до 180° .

Азимут A – це кут, утворений площинами небесного меридіана і вертикала світила. Азимут вимірюється дугою $\overset{\frown}{E}Sm$ (рис. 2.4) математичного горизонту і відлічується в астрономії від точки півдня S у напрямку руху обертання небесної сфери.

Створити карту неба в горизонтальній системі можливо тільки для конкретної миті, оскільки внаслідок обертання Землі азимут та зенітна відстань постійно змінюються. Для всіх практичних вимірювань висот і азимутів світил потрібно відмічати за хронометром час, що відповідає відліку координат.

Екваторіальні системи координат. В астрономії використовують дві екваторіальні системи. В першій екваторіальній системі координатами світила є схилення δ і годинний кут t , в другій екваторіальній системі – схилення δ і пряме піднесення α (рис. 2.5). Велике півколо, що проходить через полюси світу та світило, називається колом схилення. Протягом доби світила описують на небесній сфері малі кола, площини яких паралельні площині небесного екватора. Їх називають добовими паралелями.

Схилення δ (у сучасних каталогах *Dec* від англійського *Declination*) – це кут між площиною небесного екватора і напрямком на світило; вимірюється δ рівною йому дугою $\overset{\frown}{E}GM$ кола схилення (рис. 2.5). Схилення зорі не змінюється протягом доби. Додатні схилення ($0^\circ \leq \delta \leq +90^\circ$) мають світила, що належать північній півсфері, а від'ємні ($0^\circ \geq \delta \geq -90^\circ$) – південній півсфері.

Годинний кут t – це кут між площинами небесного меридіана і кола схилення світила; вимірюється t дугою $\overset{\frown}{E}QG$ небесного екватора від південної частини небесного меридіана в бік видимого обертання небесної сфери (рис. 2.5). Годинний кут прийнято виражати одиницями часу: годинами, хвилинами, секундами. При цьому слід пам'ятати, що $1h$ відповідає 15° , $1m$ – $15'$ і $1s$ – $15''$. За один оберт світила навколо осі світу годинний кут зростає від $0h$ до $24h$, причому значення $24h$ під час обчислень одразу перетворюють на $0h$.

Остаточно прив'язує координатну сітку до небесної сфери, що обертається, друга екваторіальна система координат, в якій годинний кут замінюється на пряме піднесення. *Пряме піднесення (пряме сходження)* α (у сучасних каталогах *R.A.* від англійського *Right Ascension*) – це кут, утворений площинами кіл схилення точки весняного рівнодення і світила; вимірюється пряме піднесення дугою $\overset{\circ}{E} gG$ небесного екватора від точки весняного рівнодення в напрямку з заходу на схід, тобто проти руху годинникової стрілки (рис. 2.5). Різні точки небесної сфери, що не лежать на одному і тому ж колі схилення, мають неоднакові прямі піднесення, які можуть набувати значення в межах від 0h до 24h.

Дві екваторіальні координати кожної зорі – схилення δ і пряме піднесення α – з часом помітно не змінюються. Для зв'язку між першою та другою екваторіальними системами використовують значення годинного кута точки весняного рівнодення. За визначенням, цей кут є зоряним часом, $S = t_\gamma$, та для будь-якого світила:

$$S = t + \alpha \quad (2.2)$$

Тривалість зоряної доби дорівнює тривалості одного оберту Землі відносно зір, а саме 23 години 56 хвилин 4,1 секунди середнього сонячного часу.

Кульмінації світил

Обертання Землі призводить до того, що протягом доби горизонтальні координати світила безперервно змінюються: азимут може змінюватись від 0° до 360° , а висота – коливається від деякого максимального значення h_v до мінімального – h_n . Обидва випадки відповідають моменту проходження світила через небесний меридіан.

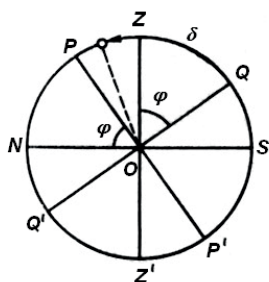


Рис. 2.6. Світило в меридіані на північ від точки зеніту (верхня кульмінація)

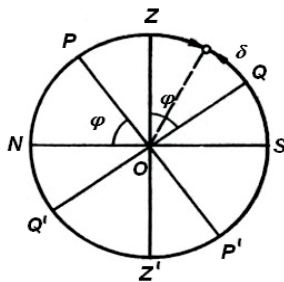


Рис. 2.7. Світило в меридіані на південь від точки зеніту (верхня кульмінація)

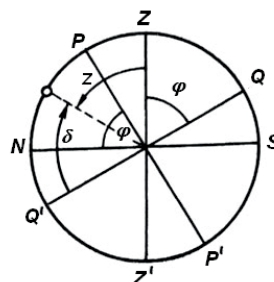


Рис. 2.8. Світило в нижній кульмінації

Явище проходження світила через небесний меридіан називають кульмінацією світила (від лат. *culmen* – верх). У верхній кульмінації світило перетинає небесний меридіан ближче до зеніту, ніж у нижній кульмінації. Відповідно до визначення годинного кута t , в момент верхньої кульмінації світила його годинний кут дорівнює $0h$, в момент нижньої кульмінації світила – $12h$.

Схилення світила зв'язане з його зенітною відстанню в момент верхньої кульмінації та з географічною широтою місця співвідношенням:

$$\delta = \varphi \pm z, \quad (2.3)$$

в якому знак «плюс» береться для світил, що проходять меридіан на північ від зеніту (рис. 2.6), а знак «мінус» – для світил, що проходять через меридіан на південь від зеніту (рис. 2.7).

У момент нижньої кульмінації будь-якого світила (рис. 2.8) його схилення:

$$\delta = 180^\circ - (\varphi + z) \quad (2.4)$$

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Вкажіть основні точки, лінії і площини небесної сфери на рисунку.
2. Що таке схилення, пряме піднесення, годинний кут світила?
3. Що таке азимут, висота, зенітна відстань світила?
4. Чому дорівнюють пряме піднесення і схилення точок весняного і осіннього рівнодень? Північного і південного полюсів світу?
5. Чому дорівнюють азимуті основних точок горизонту (*SWEN*)?
6. Що називають вертикалом світила? Через які точки проходить перший вертикал?
7. Що називають кругом схилення світила? Добовою паралеллю?
8. Як називають круг схилення, що проходить через зеніт (надир)?
9. У яких точках Землі північний полюс світу збігається з зенітом? з точкою півночі? з надиром?

ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

1. Виписати до робочого зошиту відповіді на контрольні запитання.
2. Намалювати проекцію небесної сфери на площину:
 - а) небесного меридіана;
 - б) горизонту;
 - в) небесного екватора;
3. Довести «Теорему про висоту полюсу світу над горизонтом», тобто, що висота північного полюсу світу дорівнює широті місцевості.
4. Довести, що точки сходу та заходу відстоять від точок півночі та півдня, а також від верхньої та нижньої точок екватору на 90° .
5. Знайти, як пов'язані схилення та широта місцевості для
 - а) зір, що не заходять;
 - б) зір, що не сходять;
 - в) зір, що сходять та заходять.Зробити відповідні рисунки.
6. Оцініть, на скільки, внаслідок прецесії пересувається точка весняного рівнодення по екватору за рік, якщо час, протягом якого полюс світу описує мале коло навколо полюсу екліптики, дорівнює приблизно 26 тис. років.
7. Деяку зорю спостерігали у верхній кульмінації на зенітній відстані 40° та у нижній кульмінації – на зенітній відстані 70° . Визначити широту місця спостереження та схилення зорі. Скільки рішень має задача?
8. Визначити зоряний час в момент, коли зоря, пряме піднесення якої дорівнює $3h$, проходить нижню кульмінацію.

Тема № 3

ВИВЧЕННЯ ЗОРЯНОГО НЕБА. ЗОРЯНІ АТЛАСИ. ВІРТУАЛЬНІ ПЛАНЕТАРІЇ

МЕТА ЗАВДАННЯ: вивчити основні конфігурації сузір'їв, навчитися визначати оптимальні умови спостережень.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Історію виникнення сучасних назв для окремих зоряних конфігурацій розглянуто в темі № 1. Для вивчення відносного розташування зір на небі довгий час використовували зоряні глобуси та атласи, проте на сьогодні доцільно використовувати також віртуальні планетарії.

Зоряні атласи

Зоряні атласи разом із зоряними каталогами призначені для астрономічних спостережень та виконання науково-дослідницької роботи.

Оскільки неможливо просторову поверхню – сферу відобразити без спотворень на площині, карти зоряних атласів будуються в проекціях. При цьому, як правило, карти навколополюсних областей будують у так званій центральній полярній (1), екваторіальних (2) – у центральній екваторіальній, а проміжних (3) – у центральній конічній проекції (рис. 3.1). Оскільки карти пласкі, а поверхня, що проектується, сферична, зображення будь-якої ділянки неба на карті неможливе без спотворень. Характер спотворень залежить від застосованої проекції, яку обирають так, щоб суть і величину спотворень можна було врахувати під час порівняння карти і неба, але про наявність спотворень слід пам'ятати завжди.

У процесі побудови зоряних карт або карт позагалактичних об'єктів може бути використана будь-яка з наступних астрономічних систем координат: екваторіальна, екліптична, галактична, супергалактична. Для загальних цілей найбільш зручною є друга екваторіальна система координат.

На зоряних картах зображення зір зазвичай нанесені у вигляді кружків або інших символів, при цьому розмір кружка тим більший, чим більший блиск зорі.

Шкали градацій блиску у зоряних величинах розміщують на краю карти. Змінні та подвійні (кратні) зорі, зоряні скупчення, туманності, галактики позначаються окремими символами, значення яких вказані або на кожній карті, або в передмові до атласу. У деяких атласах позначено межі Чумацького Шляху і найбільш яскравих туманностей.

У деяких атласах нанесено межі на назви сузір'їв, окремі зорі відмічено буквами грецького або латинського алфавітів або цифрами відповідно до загальноприйнятих позначень. У старовинних атласах, як,

наприклад, в атласі Яна Гевелія «*Prodromus astronomiae cum Catalogo fixarum et Firmamentum Sobiescianum*» (1690), розміщували навіть рисунки людей, тварин і предметів відповідно до назв сузір'їв (рис. 3.2).

Першу друковану зоряну карту було видано в 1515 році за гравюрами Альбрехта Дюрера у Нюрнбергу (перебуває у Британському музеї). Цю карту Дюрер підготував разом з відомим науковцями того часу Йоганном Стабієм (ініціатор проекту) та Конрадом Хейнфогелем. У чотирьох кутах карти північної півкулі зображені у фантастичному одязі видатні прадавні астрономи: Арат, Клавдій Птолемей, Марк Манілій і Ас-Суфі (рис. 3.2, ліворуч).

Різниця між сучасними та середньовічними зоряними картами не тільки у наявності або відсутності рисунків. Сучасні карти створюються відповідно розташуванню спостерігача всередині небесної сфери. Середньовічні карти будувалися у відповідності до зоряних глобусів, тобто в дзеркальному відображенні (рис. 3.3).

Нанесена на карті координатна сітка другої екваторіальної (або іншої – наприклад, екліптичної, як в атласі Яна Гевелія) системи координат дає змогу приблизно відлічувати координати об'єктів, розмішених

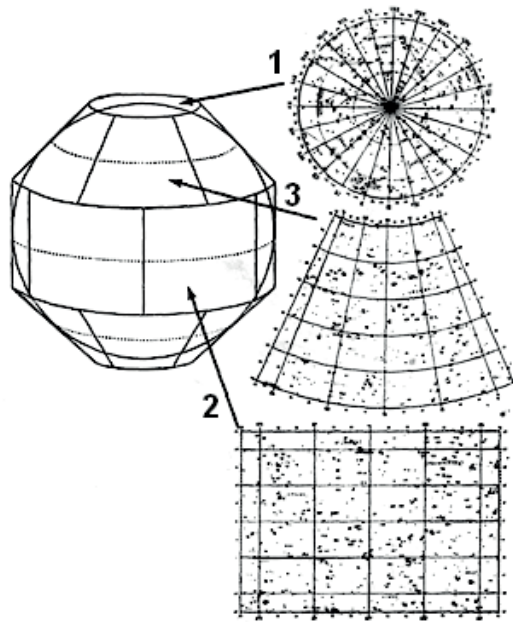


Рис. 3.1. Види проєкцій для побудови карт атласу:
1 – центральна, 2 – екваторіальна, 3 – конічна

на карті і, навпаки, по координатах знаходити місцеположення об'єктів. Перед подібними вимірюваннями або пошуками необхідно встановити масштаб карт і ціну координатних поділок – основних і дрібніших.

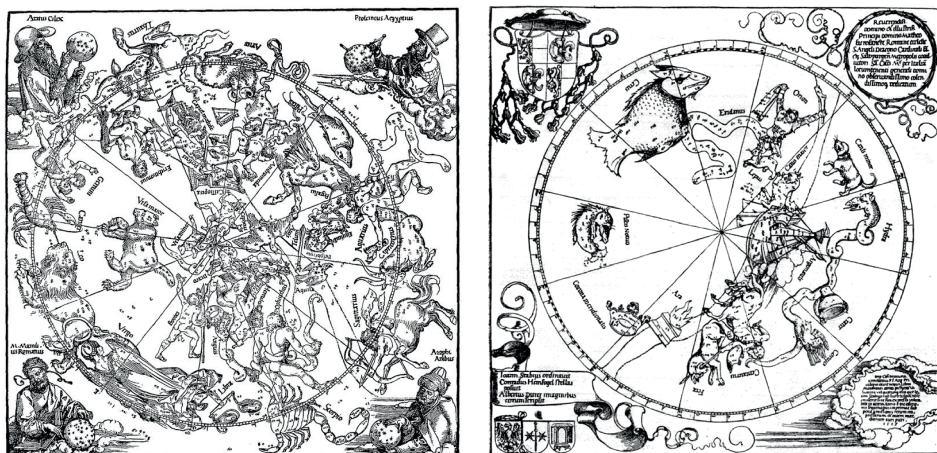


Рис. 3.2. Перші друковані карти зоряного неба (гравюри А. Дюрера)

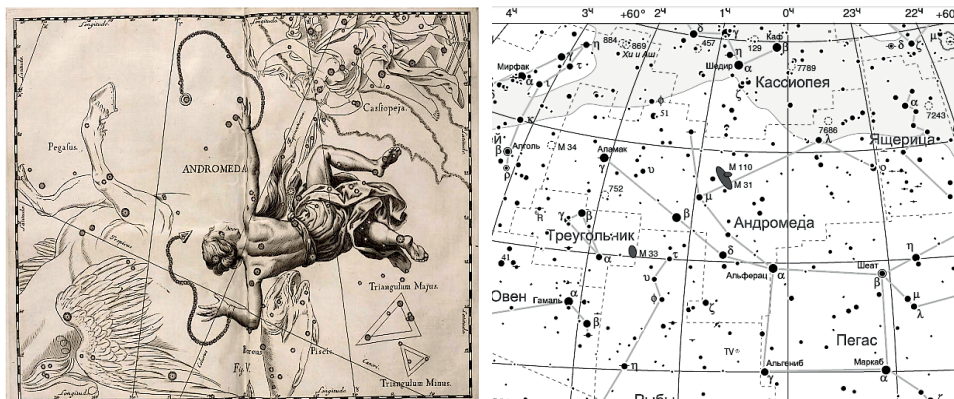


Рис. 3.3. Зображення області сузір'я Андромеда в атласі Яна Гевелія (ліворуч) та сучасному атласі (Ед Важоров, www.eproject.ru). На сучасній карті сузір'я Пегас розташовано праворуч від Андромеди, на карті Гевелія – ліворуч

Унаслідок явища прецесії екваторіальні координати світил повільно, але безперервно змінюються. Цю зміну необхідно враховувати, якщо епоха рівнодення карт відрізняється від моменту користування атласом. Поправки координат можна взяти з астрономічного довідника.

Причиною виникнення прецесії є притягання Місяцем і Сонцем маси екваторіального потовщення Землі та нахил місячної орбіти

і екліптики до площини екватора. Під дією сил тяжіння F_1 і F_2 , (рис. 3.4) неоднакових за величиною і напрямом, відбувається просторовий конічний рух осі обертання земної кулі навколо осі екліптики PP' з періодом 25 770 років. Внаслідок цього руху небесний екватор повільно змінює положення в зоряному просторі, залишаючи постійним кут свого нахилу до екліптики ($\epsilon = 23^\circ 27'$), а точки рівнодень переміщуються на $50^{\circ},2$ за рік назустріч видимому руху Сонця по екліптиці.

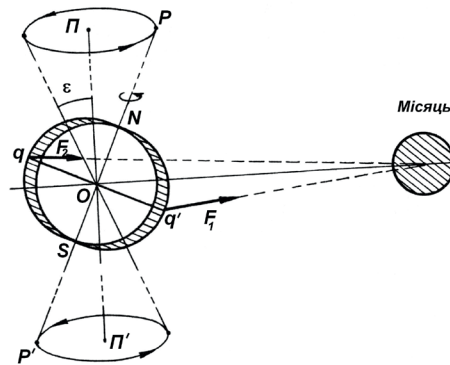


Рис. 3.4. Схема прецесії земної осі: O – центр Землі; qq' – площина екватора; $F_2 > F_1$, (показано випадок розташування Місяця в площині екліптики)

Епоха атласу, тобто момент, до якого відноситься положення точки весняного рівнодення і пов'язана з ним координатна сітка, вказується в передмові до атласу або прямо в назві (наприклад, Uranometria 2000, Sky Atlas 2000). На цей час базова епоха зоряних атласів 2000,0, проте за 10 років вже почнеться перехід до епохи 2050,0.

Атласи можуть супроводжуватися каталогами, повними або неповними. У повних каталогах наводяться точні координати на епоху атласу та інші характеристики для всіх об'єктів, нанесених на карти, в неповних – наведені тільки найцікавіші об'єкти. Для самостійної роботи пропонується використовувати компактний атлас Вajorова (www.eproject.ru), що складається з п'ятьох карт та невеликого каталогу, карти наведено у Додатку 2, можна знайти за вказаним посиланням. Можливість друкувати потрібні карти є у програмах віртуальних планетаріїв.

Інші атласи зоряного неба в pdf-форматі, які доступні для безкоштовного копіювання можна знайти за посиланнями:

- Taki's 8.5 Magnitude Star Atlas — атлас зоряного неба, підготовлений японським аматором астрономії Тошімі Таки (Toshimi Taki), <http://www.takitoshimi.shop/>
- Mag 7 Star Atlas – атлас зоряного неба, що містить усі зорі до 7,25 зоряної величини, підготовлений Ендрю Джонсоном (Andrew L. Johnson), http://ia902605.us.archive.org/25/items/Mag_7_Star_Atlas/Mag_7_Star_Atlas.pdf

- Herschel 800 atlas – атлас, що містить 800 пошукових мап кращих об'єктів зоряного неба з каталогу Гершеля. Автор мап – Michiel Brentjens, <https://www.astro.rug.nl/~brentjen/h800.pdf>.
- Український астрономічний портал. <http://www.astrosvit.in.ua/mapy/mapy-karty-i-atlasy-zorianoho-neba>

Рухома карта зоряного неба

Рухома карта зоряного неба або планісфера (рис. 3.5) призначена для загального орієнтування під час астрономічних спостережень. Вона також може бути використана і для наближеного визначення часу. Основний круг рухомої карти, на який нанесено зорі, скупчення та туманності у координатній сітці другої екваторіальної системи (координати: пряме піднесення і схилення), побудовано у полярній проекції з центром у полюсі світу. У цьому випадку кола схилень виявляються прямими лініями, що проходять через центр карти, а добові паралелі – концентричними колами з тим самим центром. Додатковий накладний круг дозволяє змодельовати добове обертання неба.

Накладний круг, також с центром у полюсі світу, має виріз, який відповідає горизонту та відокремлює видиму в якійсь час частину неба від невидимої. Рівняння горизонту у першій екваторіальній системі визначається формулою:

$$\sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t = 0, \quad (3.1)$$

де: φ – широта, для якої використовується карта, δ та t – координати другої екваторіальної системи.

Для лінії горизонту висота $h = 0^\circ$.

Звісно, в Україні використовується карта з північним полюсом світу у центрі (Додаток 3).

Відповідно до прийнятої системи координат на карті нанесено лінії кіл схилень (зазвичай вони відповідають цілим годинам) і лінії добових паралелей (через 10, 15 або 30 градусів). Нанесені лінії оцифровано у відповідних місцях: по контуру карти для прямих піднесень і уздовж кола схилень точки весняного рівнодення для схилень. Зорі, зоряні скупчення, туманності, галактики нанесені на карту відповідно до їхніх зоряних величин та координат на епоху карти. Річний путь Сонця між зір – екліптику, також нанесено на карту. Крім прямого піднесення, на краю карти нанесено календарні дати року – у відповідності до положення Сонця відносно зір. Зазвичай накладний круг можливо використовувати у межах $\varphi \pm 5^\circ$, де φ є широтою місця спостереження.

У паперовій версії карти накладний круг має кілька ліній горизонту і треба обрати потрібний.

На краю накладного круга нанесено значення середнього місцевого часу, а пряма $0^h - 12^h$ ($0^\circ - 180^\circ$ для азимутів) є небесним меридіаном.

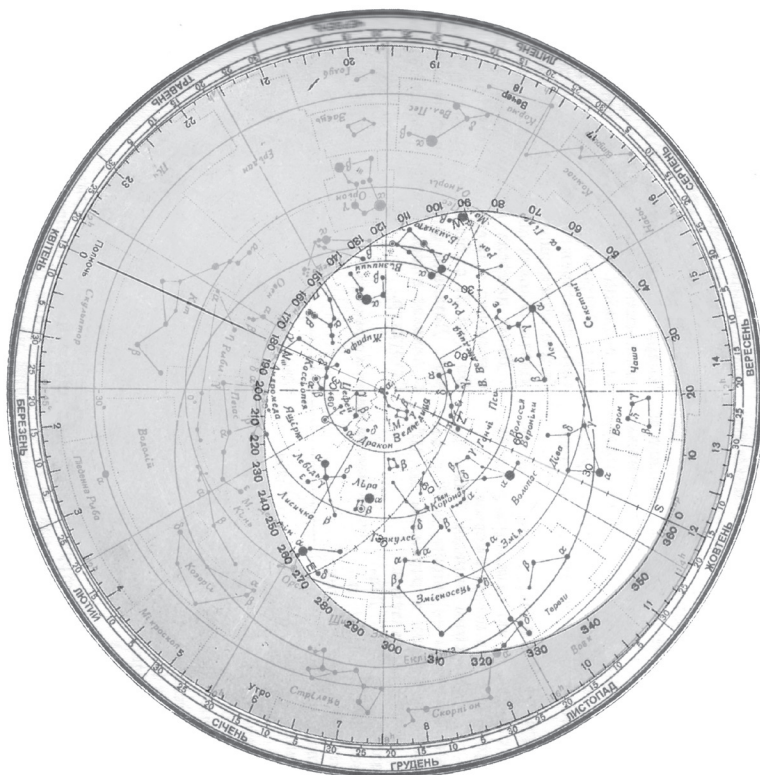


Рис. 3.5. Вигляд неба 15 квітня опівночі місцевого часу

У вже готових до використання рухомих картах накладний круг виготовлено з пластику, напівпрозорому у частині «під горизонтом», (рис. 3.5). У частині «над горизонтом» додатково нанесено небесний меридіан, точки півдня, сходу, заходу та півночі, азимуті інших точок горизонту з кроком 5, 10 або 15° (рис. 3.5).

Для визначення вигляду неба в заданий момент часу потрібно сумістити відлік календарної дати на зовнішньому контурі карти та місцевий час моменту спостережень на накладному крузі. При цьому вигляд карти «над горизонтом» відповідає вигляду неба над головою, якщо зорієнтувати карту відповідно до азимута напрямку, у якому ми дивимося. Наприклад, якщо ми дивимося у сторону південного сходу (азимут

315°), то потрібно тримати карту перед собою точкою південного сходу донизу (рис. 3.5).

Для прикладу на рис. 3.5 показано вигляд неба 15 квітня опівночі за місцевим часом (тобто о 1-й годині ночі за літнім часом). Поблизу зеніту буде видно сузір'я Волопас, Велика Ведмедиця, Волосся Вероніки та Гончі Пси. У південній частині неба знаходяться Діва, Ворон та Терези, на заході – Лев, Рак та Секстант, і т. ін. У напрямку південного сходу можна побачити Змієносця та частину розірваного сузір'я Змії (голову Змії).

Віртуальні планетарії

Всі віртуальні планетарії відтворюють вигляд неба для будь-якого місця на Землі (а деякі – й на інших планетах) на потрібну дату та час, та дають змогу надрукувати відповідну карту. Вони не потребують, як великі планетарії, куполу та можуть використовуватися на комп'ютері і навіть на мобільному телефоні.

Найбільш вдалим планетарієм вважається Stellarium – вільний віртуальний планетарій, який працює на платформах GNU/Linux, Mac OS X та Microsoft Windows, а також є варіант програми для мобільних пристроїв Stellarium Mobile. Програма використовує технології OpenGL та SDL, щоб створювати реалістичне небо у режимі реального часу. Із Stellarium можливо побачити те, що можна бачити неозброєним оком, у бінокль або маленький телескоп.

Stellarium створений французьким програмістом Фабіаном Шеро, який запустив проект влітку 2001 року. Серед розробників: Роберт Сперман, Джохейнс Гадждозіка та Джохан Меєріс, який є відповідальним за художні роботи. В останній версії Stellarium міститься інформація про більш, ніж 600 000 зір з Каталогу Гіппарха (The Hipparcos Catalogue) та Каталогу Тихо (Tycho-2 Catalogue), а також з додаткових каталогів з більш ніж 210 мільйонами зір; планети всієї Сонячної системи та їхні великі супутники; деякі астероїди та комети, назви астеризмів та художні зображення сузір'їв; зображення туманностей (повний Каталог Мессьє). Stellarium реалістично відтворює Чумацький Шлях; мерехтіння зір, різні панорамні пейзажі, туман, атмосферу, схід та захід Сонця, місячні та сонячні затемнення. Програма може також показати штучні супутники Землі, деякі комети, метеорні потоки. У разі наведення курсору на будь-який об'єкт відкривається вікно з повною інформацією про нього.

Інтерфейс програми реалізований більш, ніж 40 мовами, у тому числі українською: <https://stellarium.org/uk/>

Менш поширеним є комп'ютерний астрономічний атлас «Зоряні Мапи / Cartes du Ciel» – безкоштовне програмне забезпечення для створення зоряних мап для платформ Linux, Windows та Mac OS X.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Що таке картографічна проекція, які проекції застосовуються на зоряних атласах і в чому їх суть?
2. Як визначити ціну поділки координатної сітки карти? Масштаб карти?
3. Як визначити координати об'єкта по карті?
4. Розкажіть устрій кожного із запропонованих Вам для роботи атласів і способи нанесення в них небесних об'єктів.
5. Яка система координат і в якій проекції прийнята на рухомій карті зоряного неба?
6. Де і як на карті позначені одиниці прийнятих координат?
7. Як визначити по карті вигляд неба, якщо відомі дата і час?
8. Як визначити по карті положення Сонця в задану дату?
9. Як за допомогою рухомої карти зоряного неба приблизно визначити місцевий час спостереження?
10. Які характеристики зорі можна знайти за допомогою Stellarium?
11. Які явища дає можливість змодельювати Stellarium?
12. Яким чином за допомогою Stellarium можна дізнатися про поточні конфігурації великих супутників планет?
13. Які координатні сітки використовуються у Stellarium?

ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

1. Виписати до робочого зошиту відповіді на контрольні запитання. Ознайомитися з будовою атласу з Додатку 2 і виписати в робочий зошит номенклатуру карт (номер карти і межі по прямому піднесенню і схиленню).

2. Визначити ціну поділок для центральної частини координатної сітки екваторіальних карт.

3. Знайти необхідну карту і по ній визначити координати, видиму зоряну величину і, якщо вони є, інші характеристики об'єктів із завдання таблиці 3.1.

4. За вказаними координатами знайти на карті об'єкти (не обов'язково зорі) з таблиці 3.1. Пояснити, що це за об'єкти, користуючись позначками карт.

5. Знайти на картах і виписати в зошит назви сузір'їв, по яких проходить екліптика і Чумацький Шлях.

6. Порівняти способи зображення неба на картах в декількох атласах і виписати особливості кожного атласу.

Таблиця 3.1

Завдання для роботи з картами зоряного атласу

№ варіанта	ЗНАЙТИ КООРДИНАТИ	ЗНАЙТИ ОБ'ЄКТ	
		α_{2000}	δ_{2000}
1	β Cyg α CrB α Aur γ PsA	13 ^h 29,9 ^m	+47°12'
		8 ^h 40,0 ^m	+19°40'
		18 ^h 50,1 ^m	+33°22'
		5 ^h 13,3 ^m	+2°52'
2	γ Cas α Ori β Leo γ Del	22 ^h 29,2 ^m	+58°25'
		5 ^h 35,3 ^m	-1°58'
		1 ^h 33,8 ^m	+30°40'
		8 ^h 40,4 ^m	+19°41'
3	β And β Gem α UMa σ Cas	9 ^h 55,5 ^m	+69°04'
		21 ^h 30,0 ^m	+12°10'
		4 ^h 0,7 ^m	+12°29'
		14 ^h 28,6 ^m	-2°14'
4	γ And δ Cyg β Tau η Aql	22 ^h 03,8 ^m	+64°38'
		23 ^h 03,8 ^m	+28°05'
		13 ^h 30,0 ^m	+47°12'
		21 ^h 29,4 ^m	+48°26'
5	γ Peg β Per ε UMa η Gem	18 ^h 53,6 ^m	+33°02'
		16 ^h 41,8 ^m	+36°28'
		19 ^h 50,6 ^m	+32°55'
		2 ^h 03,9 ^m	+42°19'
6	φ Psc ε Ari α Sco β Cep	0 ^h 42,7 ^m	+41°16'
		7 ^h 42,5 ^m	-23°45'
		18 ^h 51,2 ^m	+59°24'
		5 ^h 02,0 ^m	+43°49'

7. За допомогою рухомої карти: добитися вільного і швидкого визначення вигляду неба по заданій даті та моменту часу (за бажанням роздрукувати основний та накладний круги рухомої карти з Додатку 3 та виготовити карту самостійно).

8. Навчитися визначати час сходу, заходу і кульмінацій світил.

9. Навчитися визначити положення Сонця на лінії екліптики. Визначити для прикладу положення Сонця на лінії екліптики на дату свого дня народження. Пояснити, чому положення Сонця не збігається з астрологічним знаком.

10. Визначити день та час для найкращих умов спостереження об'єкту у сузір'ях Тельця, Кассіопеї, Скорпіона в Одесі (або в іншому місці). Відповіді записати у зошит.

11. Визначити час спостереження за відомим виглядом неба. Для визначення наближеного місцевого середнього часу із спостережень потрібно поворотом накладного круга добитися того, щоб у вирізі накладного круга була видна спостережувана в даний момент часу частина зоряного неба. За ретельного виконання цієї роботи шуканий час – це відлік часу на накладному крузі навпроти дати на карті. Описати результат у зошиті.

12. Встановити (за необхідності) *Stellarium* на комп'ютер.

13. Навчитися змінювати положення спостерігача, дату та час спостереження, засвоїти основні прийоми роботи з віртуальним планетарієм.

14. Встановити точку спостереження Одеса (або інше місце). Встановіть кутовий розмір поля зору у межах 80–82°. Зорієнтуйте поле зору на південь (точка півдня розташована у центрі робочого вікна програми). Зупинить обертання неба у момент, коли сузір'я Оріона проходить верхню кульмінацію. Для цих параметрів *Stellarium* знайдіть:

- Найяскравішу зорю у полі зору, запишіть її назву, екваторіальні координати, а також висоту і годинний кут.
- Які об'єкти каталогу Месьє знаходяться у полі зору? Визначте та запишіть їхні екваторіальні координати.
- Яка зоря із поясу Оріона розташована найближче до екватора?
- На скільки відрізняються висоти верхніх кульмінацій Рігеля та Бетельгейзе? Чи змінюється ця різниця, якщо спостерігач переїде до Харкова? До Львова?
- Яка зоря: Рігель або Бетельгейзе кульмінує раніше?
- В якому сузір'ї у полі зору міститься найбільша кількість зір, яскравіших за 3^m?

– Яка із зір, Сіріус чи Бетельгейзе мають більшу світність? Відповідь обґрунтуйте даними зі *Stellarium*.

15. На зображеннях неба (Додаток 4) позначити:

- відомі Вам сузір'я;
- найяскравіші зорі;
- перелічити об'єкти незоряної природи, які видно на обох зображеннях (окремо).
- Якому значенню схилення відповідає коло на малюнку?
- Де і коли на Землі можна спостерігати таку картинку, що наведена на кожному з рисунків?
- У межах якого з рисунків (1 або 2 додатку 4) розташований центр нашої Галактики? В якому саме сузір'ї? Як називається найяскравіша зоря в у цьому сузір'ї?

Тема № 4

ЧАС ТА КАЛЕНДАР

МЕТА ЗАВДАННЯ: Засвоїти основні поняття, пов'язані з вимірюванням часу. Навчитися розраховувати Юліанську дату.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Час – основна фізична величина, що характеризує послідовну зміну явищ і станів матерії, тривалість їх буття.

Історично всі основні і похідні одиниці вимірювання часу визначаються на основі астрономічних спостережень за перебігом небесних явищ, обумовлених: обертанням Землі навколо своєї осі, обертанням Місяця навколо Землі і обертанням Землі навколо Сонця. Вимірювання часу належить до найважливіших розділів класичної астрономії. Невеликі проміжки часу вимірювалися відповідно до положення на небі Сонця та Місяця. Циклічні зміни погоди, які пов'язані з рухом Сонця відносно зір, спричиняли необхідність використання довших одиниць для вимірювання часу. Тому водночас існують одиниці виміру: доба, тиждень, місяць, рік.

Для вимірювання та відліку часу в астрономії використовують різні системи відліку, відповідно до тих чи інших небесних світил або певних точок небесної сфери.

Час, за яким ми живемо, це *сонячний час*. Сонячний час, пов'язаний з видимим рухом центру диска Сонця по екліптиці, називають справжнім або істинним сонячним часом. Проте, внаслідок еліптичності земної орбіти та нахилом площини екліптики до площини небесного екватору, істинне Сонце рухається по небу нерівномірно. Тому для створення рівномірної шкали відліку часу вводяться поняття «*середнє екваторіальне Сонце*», або просто «*середнє Сонце*» та «*середній сонячний час*». *Середнє екваторіальне Сонце* – це уявна точка, яка рівномірно переміщується по небесному екватору у тому ж напрямку, що й справжнє Сонце.

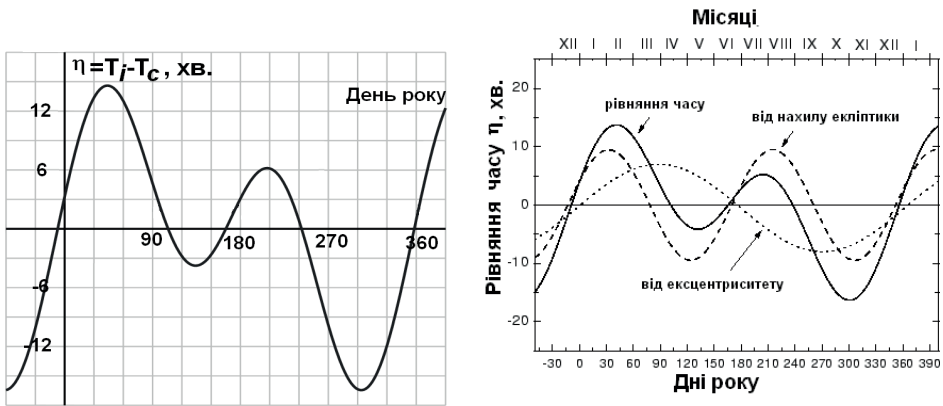


Рис. 4.1. Рівняння часу та його складові

Різниця між істинним сонячним часом T_i та середнім сонячним часом T_c називається рівнянням часу (4.1) та позначається грецькою літерою η . Іноді використовують обернене рівняння часу η' (4.1 a).

$$\eta = T_i - T_c \quad (4.1)$$

$$\eta' = T_c - T_i \quad (4.1a)$$

Рівняння часу у кожний конкретний момент однакове для спостерігача в будь-якій точці Землі. Таблиці значень рівняння часу наводяться в астрономічних календарях та щорічниках. Яке саме рівняння часу наведено, обов'язково вказано в поясненні до таблиці. Рівняння часу та його складові показано на рис. 4.1. Додатні значення рівняння часу набуває, коли середнє Сонце у своєму річному русі «відстає» від істинного Сонця, від'ємні – навпаки, коли істинне Сонце «відстає» від середнього.

Для оцінки величини рівняння часу використовують номограму (Додаток 5). Подібні номограми розміщували на старовинних глобусах, рис. 4.2. Обидві складові рівняння часу поступово змінюються, тому рівняння часу також змінюється. Зміни рівняння часу протягом 3000 років показано на рис. 4.3.



Рис. 4.2. Зображення аналеми на старовинному глобусі Землі. Музей глобусів, Відень

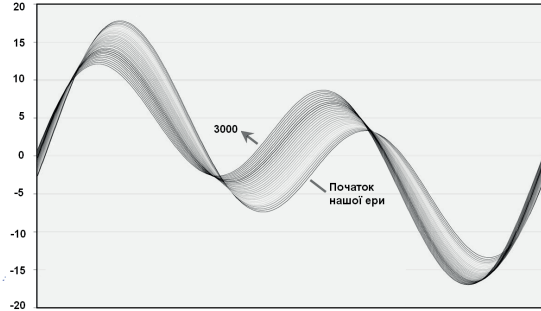


Рис. 4.3. Зміни рівняння часу від початку нашої ери до 3000 року. Графіки розділено проміжком часу 100 років. За обчисленнями К. Керні (К. Karney)

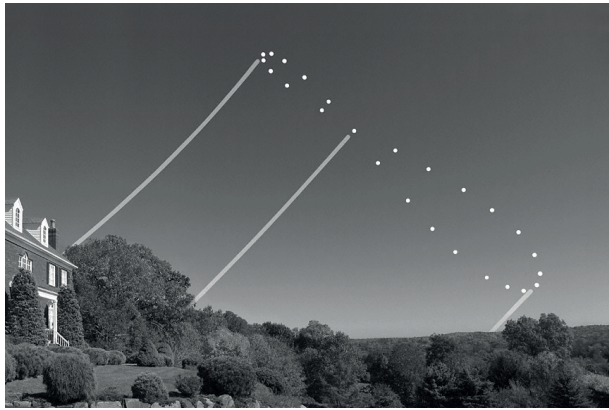


Рис. 4.4. Аналема, фотографія Тома Метьюсона (Thomas G. Matheson). Зображення Сонця були отримані о 8 годині ранку з 20 грудня 2005 р. до 8 грудня 2006 р. Дуги відповідають добовим паралелям Сонця

Візуалізацією рівняння часу є аналема – знімок положень Сонця у різні дні року, але у той самий момент середнього часу. Одна з аналем показана на рис. 4.4. Розрахувати вигляд анафеми для будь-якого місця та часу на Землі можна за допомогою астрономічного калькулятора Day night (https://daybit.ru/soft/Day_night_v3_0.exe, freeware.ru). Приклад такого розрахунку для Одеси показано на рис. 4.5.

Зоряний час, пов'язаний з добовим обертанням небесної сфери, вводиться для зв'язку I та II екваторіальних систем (див. завдання теми № 3). Зоряний час дорівнює годинному куту точки весняного рівнодення.

Основною одиницею зоряного, істинного і середнього сонячного часу є доба. Зоряні, середні сонячні та інші секунди ми отримуємо діленням відповідної доби на 86400 ($24^h \times 60^m \times 60^s$).

Доба – це проміжок часу, протягом якого Земля робить один повний оберт навколо своєї осі щодо будь-якого орієнтира.

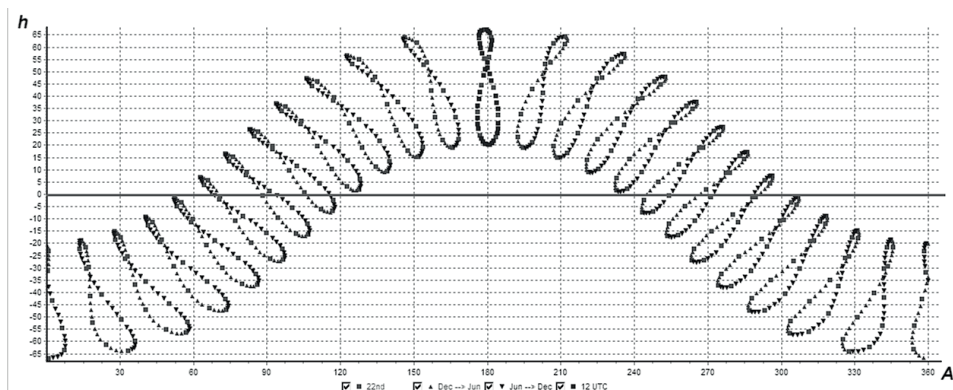


Рис. 4.5. Вигляд 24 аналем, розрахованих для широти Одеси за допомогою астрономічного калькулятора Day night. Спотворення форми аналем є наслідком проекції

Справжня сонячна доба – це період обертання Землі навколо своєї осі відносно центра диска Сонця. Сонячна доба визначається як проміжок часу між двома послідовними однойменними кульмінаціями Сонця. Залежно від того, істинне або середнє Сонце проходить кульмінації, ми отримуємо справжню або середню добу. Початок середньої доби – момент нижньої кульмінації середнього Сонця. Сонячний час на 12 годин більший за годинний кут Сонця: $T_{\odot} = t_{\odot} + 12^h$.

Зоряна доба – період обертання Землі навколо своєї осі відносно нерухомих зір, визначається як проміжок часу між двома послідовними верхніми кульмінаціями точки весняного рівнодення. Початок зоряної доби – момент верхньої кульмінації точки весняного рівнодення. Зоряна доба стабільніша за істинну сонячну, але теж змінюється внаслідок прецесії та нутації. Тому у роботах, що вимагають великої точності, використовують поняття *середньої* та *істинної* точки весняного рівнодення (відповідно *середня* та *істинна зоряна доба*). У першому випадку враховано тільки прецесію, у другому приймають до уваги також зміщення осі обертання Землі внаслідок впливу Місяця (нутацію). Практично завжди, коли йдеться про зоряну добу, мається на увазі *середня зоряна доба*.

1 одиниця (доба, хвилина або секунда) зоряного часу дорівнює 0,9972696 відповідної одиниці середнього сонячного часу.

Проміжок часу між двома кульмінаціями справжнього Сонця непостійний і протягом року змінюється від $24^h 3^m 36^s$ (в середині вересня) до $24^h 4^m 27^s$ (наприкінці грудня) зоряного часу.

Внаслідок уповільнення руху обертання Землі тривалість сонячної доби з часом збільшується. Тому було зафіксовано тривалість 1 секунди. *Ефемеридна секунда* дорівнює 1 середній сонячній секунді 0 січня 1900 року о 12 годині рівномірного часу, що не пов'язаний з обертанням Землі.

Сучасні високоточні атомні годинники дали змогу ввести еталонний проміжок часу, що не залежить від обертання Землі, атомну секунду. *Атомна секунда* – фізична величина, що чисельно дорівнює 9192631770 періодам випромінювання під час відповідного переходу між надтонкими рівнями основного стану атома Цезію-133.

Місцевий час визначається годинним кутом Сонця для кожного з меридіанів Землі. Це незручно, тому Землю було поділено на 24 часових пояси. Географічний часовий пояс – умовна смуга на земній поверхні шириною рівно 15° ($\pm 7,5^\circ$ щодо середнього меридіана), у кожному з котрих час відрізняється від сусідніх на 1 годину. Середнім меридіаном нульового часового поясу вважається Гринвіцький меридіан. Адміністративний часовий пояс – ділянка земної поверхні, на якому відповідно до деякого закону встановлено певний офіційний час. Межі адміністративних часових поясів проведено з урахуванням державних або адміністративних кордонів. Офіційний час може відрізнятись від поясного: наприклад, в деяких країнах влітку вводиться «літній час», коли годинники переводять на 1 годину вперед. Регіональний час є різновидом офіційного, але різниця між поясным та регіональним часом відрізняється від цілої години. Приклад регіонального часу – Тегеранський час, за яким живе Іран. Тегеранський час відповідає середньому сонячному часу меридіана $52^\circ 30'$, тобто відрізняється від поясного часу III-го часового поясу на півгодини. Гринвіцький середній сонячний час називається *всесвітнім часом*, позначається як UT (Universal Time).

Календар

Фази Місяця дали змогу ввести одиниці виміру часу тиждень та місяць. Упродовж тижня вигляд Місяця змінюється від повністю невидимого Місяця до півкруга (першої чверті), далі до повні, півкруга (останньої чверті) та знову до невидимості. Період повної зміни фаз називають синодичним місяцем, він дорівнює у середньому $29^d 12^h 44^m$ та може варіювати в межах 13 годин через ексцентриситет місячної орбіти.

Ще більші інтервали часу вимірюють роками. Період між послідовними проходженнями Сонця точки весняного рівнодення називають тропічним роком. Тривалість тропічного року: $T = 365,24220$ (365,242196) середніх сонячних діб, або $365^d 5^h 48^m 46^s$. Внаслідок прецесії тропічний рік відрізняється від періоду обертання Землі навколо Сонця – зоряного (сидеричного) року. Зоряний рік визначають, як проміжок часу між двома послідовними проходженнями центром сонячного диска одного й того ж (відносно зір) місця екліптики. Зоряний рік дорівнює $365,256363$ середніх сонячних діб, або $365^d 6^h 9^m 9,77^s$.

Система фіксації великих проміжків часу (літочислення) з поділом на окремі періоди – роки, місяці та доби – називають календарем. За основу календарних одиниць відліку часу взяті природні одиниці часу: сонячний рік, синодичний місяць і сонячна доба. Та обставина, що ані рік, ані місяць не містять цілого числа середніх сонячних діб, є основною складністю у створенні календарів. У різних культурах виникли три типи календарів: сонячний, місячний і місячно-сонячний. У сонячному календарі основною одиницею часу є тривалість тропічного року. Наш сучасний календар відноситься до сонячного. В основі місячного календаря лежить тривалість синодичного місяця. Рік у ньому дорівнює 354 або 355 середніх сонячних діб, тобто в середньому рік містить 12 місяців по 29,5 діб. Місячно-сонячний календар є комбінацією сонячного і місячного календаря. В ньому рік містить 12 або 13 місяців, причому місяці в році чергуються, щоб дні місяця якнайкраще потрапляли на одні і ті ж фази Місяця.

Порядкові номери років у календарях ведуться від умовного початку, що називається ера. Відомо понад 200 різних ер. Єгиптяни лічили ери по роках початку правління династії фараонів, китайці та японці – початку правління імператорів, римляни – «від заснування Риму». У християнській релігії спочатку було прийнято відлік «від створення світу».

У VI сторіччі за дорученням римського папи Іоанна I римський абат Діонісій Малий розрахував можливий «рік народження Господа нашого Ісуса Христа» (латинською *Anno Domini Nostri Iesu Christi*). За пропозицією англійського історика Беди Преподобного (*Beda Venerabilis*) початок ери «від Різдва Христового», або «*Anno Domini*», A.D, став стандартним в Європі. Цей відлік років поділив вісь часу на «нашу еру» та «до нашої ери». Англійською «до нашої ери» позначається BC

(Before Christ). Нульового року в ері «від Різдва Христового» немає, є 1 рік нашої ери та 1 рік до нашої ери.

Сучасний календар складається з основних елементів сонячного римського календаря, який був розроблений олександрійським астрономом Созігеном і введений у 45 р. до нашої ери Юлієм Цезарем, завдяки чому називається юліанським. Рік у ньому становив 365,25 сонячної доби, причому для зручності лічби запропоновано вважати три роки по 365 діб, а кожен четвертий рік 366 діб. Роки з 365 днями названо простими, а з 366 – високосними (від латинського *bis sextus* – «другий шостий» день, який додавався за 6 днів до березневих календ, тобто до початку березня). Всі роки, номери яких діляться на 4, вважалися високосними.

В юліанському календареві різниця між календарним і тропічним роком становить 0,0078 доби, за 128 років вона збільшується до 1 доби. На кінець XVI століття, відставання календаря від руху Сонця становило вже 10 діб. Італійський математик Луїджі Ліліо Гараллі запропонував проект нового календаря, який і був затверджений Папою Римським Григорієм XIII в 1582 р.

Новий календар став називатися григоріанським, або «новим стилем», на відміну від юліанського календаря, або «старого стилю». У папській буллі пропонувалося вважати наступний після 4 жовтня 1582 р. день не 5, а 15 жовтня. Так було ліквідовано 10 днів відставання. Щоб у подальшому не допускати відставання, домовилися з кожних 400 років вважати високосними не 100, як в юліанському календареві, а 97 років і не вважати високосними ті вікові роки, в яких число сотень не ділиться на 4 без залишку, наприклад, 1700, 1800, 1900.

Альтернативою григоріанському календарю є новоюліанський календар, розроблений професором математики і небесної механіки Белградського університету Мілутіном Міланковичем та прийнятий рішенням Собору православних східних церков, скликаного патріархом Мелетієм IV у травні 1923 року. На відміну від григоріанського календаря в ньому викидається не 3 доби в 400 років, а 7 діб в 900 років (тобто, він містить 218 високосних років на 900 років). У ньому рік вважається високосним, якщо:

- а) його номер без залишку ділиться на 4 і не ділиться на 100 або
- б) його номер ділиться на 900 із залишком 200 або 600.

До 28 лютого 2800 року новоюліанський календар буде повністю збігатися з григоріанським.

Юліанська лічба днів.

Юліанська лічба днів (JD, Julian date) є способом вимірювання часу в астрономії, за якого рахується кількість днів, що минули з полудня 24 листопада 4714 року до нашої ери за григоріанським календарем (1 січня 4713 року до нашої ери за юліанським календарем).

Дати змінюються опівдні UT. Для точного позначення часу застосовують дробову частину, наприклад, $JD = 2451545,25$ відповідає 18-ї години 1 січня 2000 року.

Цю лічбу днів запропонував Жозеф Жюст Скалігер для цілей історії та хронології. Оскільки історикам постійно потрібно працювати з різними календарними системами і різними епохами, Скалігер запропонував хронологічну шкалу, у котрій всі історичні дати були б додатними – юліанський період. Шкала базується на циклі тривалістю 7980 років, який є добутком трьох характерних для юліанського календаря періодів – 28-річного (період повторення днів тижня), 19-річного (період повторення пасхалії) і 15-річного циклу індіктів (від латинського *Indictio*, пов'язаного з розрахунками розміру податків у прадавньому Римі та поширеному в середньовічній Європі для датування документів). У розрахунках Скалігера збіг першого року для всіх трьох циклів припав на 4713 рік до нашої ери. Тривалість циклу дорівнює $15 \times 19 \times 28$, тобто 7980 років. Кінець першого юліанського періоду припадає на 23 січня 3268 року за григоріанським календарем.

У подальшому Вільям Гершель адаптував систему лічби днів Скалігера для астрономічних розрахунків, запропонувавши всі дати виражати через число днів, що минули від зазначеного початку циклу.

Таблицю для обчислення Юліанської дати з 2000 по 2025 роки наведено у Додатку 6.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Що таке «середнє Сонце»?
2. Чому середня доба не дорівнює істинній?
3. Чому істинна доба не дорівнює середній сонячній?
4. Що таке рівняння часу? Чому рівняння часу змінюється протягом року?
5. Що таке місцевий час? Регіональний час? Офіційний час?
6. Чому тривалість ефемеридної секунди прив'язана до 1900 року?
7. Що таке «атомна секунда»?
8. Для чого потрібні високосні роки?

9. Як розрахувати точність календаря?
10. Що таке Юліанський період?

ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

1. Виписати до робочого зошиту відповіді на контрольні питання.
2. Зоря з прямим піднесенням $\alpha = 11^{\text{h}}28^{\text{m}}16^{\text{s}}$ спостерігається у нижній кульмінації о $23^{\text{h}}26^{\text{m}}48^{\text{s}}$ за зоряним хронометром. Чому дорівнює його поправка? *Коментар до завдання:* поправкою годинника u вважають різницю між середнім часом T_c та часом хронометра: $T_{xp} : u = T_c - T_{xp}$. В часи Інтернету синхронізація годинників виконується у будь-який момент, але в класичних астрономічних задачах поправка годинника разом з іншими його характеристиками ще використовується. Поправка додається до часу хронометра зі своїм знаком: $T_c = T_{xp} + u$.
3. Розрахувати середню тривалість року для юліанського, григоріанського, новоюліанського календарів та календаря Й. Г. Медлера, в якому 1 високосний рік відбувається раз на 128 років. Який з 4-х календарів є найточнішим?
4. Визначити значення рівняння часу для 21 березня, 22 червня, 23 вересня, 22 грудня за номограмою (Додаток 5). Чому дорівнює значення рівняння часу для весняного та осіннього рівнодень? В які дні року рівняння часу дорівнює 0?
5. В яки приблизно дати року Том Метьюсон отримав кадри з дугами, що відповідають добовим паралелям Сонця (рис. 4.3)?
6. Розрахувати JD для початку занять у поточному навчальному році (1 вересня, 8 година ранку за київським часом), за таблицею Додатку 6.
7. Зоряна доба на Марсі триває $24^{\text{h}}37^{\text{m}}22,663^{\text{s}}$ в одиницях середнього сонячного часу Землі. Зоряний рік на Марсі 686,98 земних діб. З урахуванням майбутньої колонізації Марса обчислити:
 - Тривалість середньої марсіанської сонячної доби – сола – в одиницях земного часу.
 - Кількість солів у марсіанському році. Прецесією осі обертання Марса знехтувати.
 - Запропонувати календар для Марсу (співвідношення прості/високосні роки).
8. На супутниковому знімку (рис. 4.4) видно полярне сяйво над північним полюсом Землі. Визначте дату і час (за київським часом), коли було отримано цей знімок. (довгота Києва $2^{\text{h}}02^{\text{m}}$).

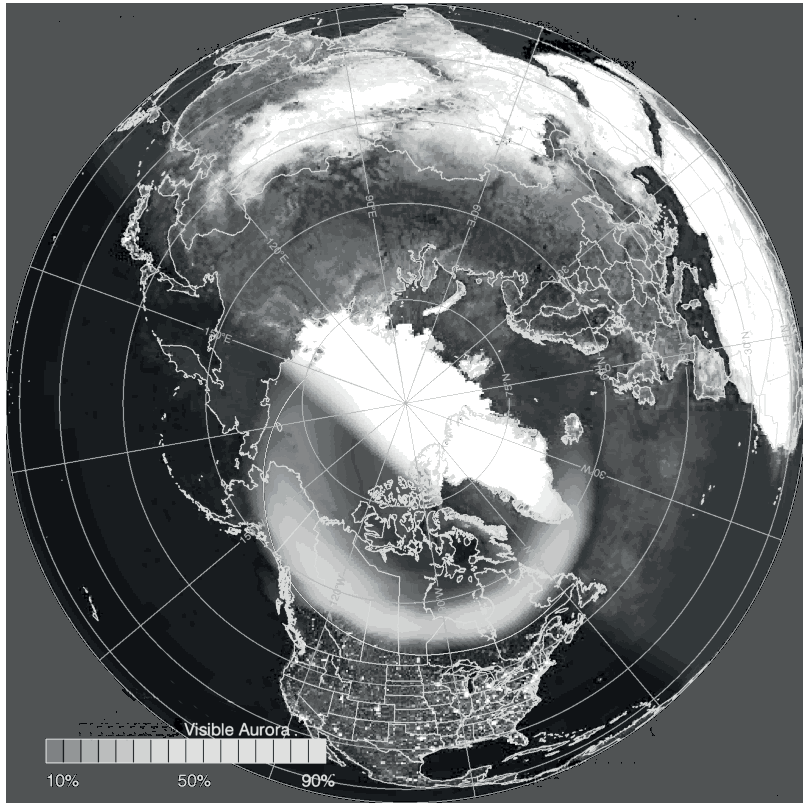


Рис. 4.6. Супутниковий знімок полярного сяйва над північним полюсом Землі, яскраві плями на денній стороні Землі – хмари

Тема № 5

РУХ ТІЛ СОНЯЧНОЇ СИСТЕМИ

МЕТА ЗАВДАННЯ: ознайомитися з особливостями видимого руху планет. Навчитися використовувати спостережні особливості руху планет для обчислення фізичних параметрів їхнього руху. Навчитися використовувати три закони Кеплера в їх класичному вигляді та в уточненій формі.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Видимий рух планет

Навколо Сонця обертається велика кількість тіл, що складають Сонячну систему. Це 8 великих планет, їх супутники, карликові планети (Церера, Плутон, Ерида, Макемаке, Хаумеа), астероїди головного поясу та поясу Койпера, комети, пилові частинки.

Спостережувані особливості руху великих планет відомі з давніх часів. Дві планети, Меркурій та Венера ніколи не відходять від Сонця на велику кутову відстань та не можуть спостерігатися у точці, протилежної Сонцю. Ці дві планети називають внутрішніми (вочевидь, відносно спостережень із Землі), інші 5 планет (Марс, Юпітер, Сатурн, Уран і Нептун) – зовнішніми. Всі карликові планети також є зовнішніми. Положення, які займають планети з точки зору земного спостереження, називають конфігураціями (рис. 5.1 та 5.2).

Положення внутрішніх планет, в яких вони перебувають на тій самій екліптичній довготі, що й Сонце, називають сполученнями (рис. 5.1). Якщо планета у сполученні розташована між Землею та Сонцем, таке сполучення називають нижнім, а якщо позаду Сонця, то верхнім. Видима кутова віддаль планети від Сонця, яка називається елонгацією, періодично змінюється від нуля до максимального значення. Елонгація може бути західною або східною, відповідно до Сонця. Якщо нижня планета перебуває у західній елонгації, то вона розташована на захід від Сонця, та її можна спостерігати тільки вранці.

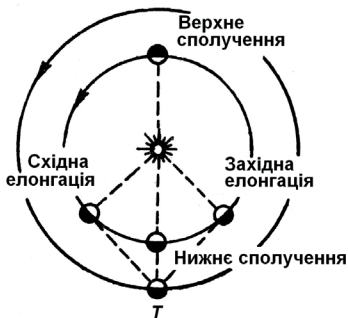


Рис. 5.1. Конфігурації внутрішньої планети.
Літерою *T* позначено Землю

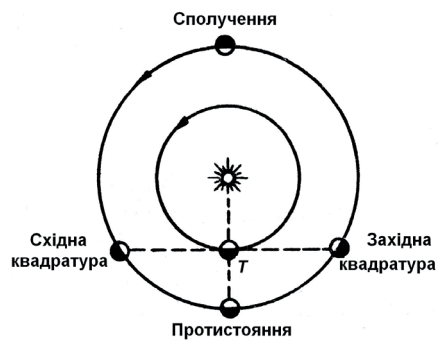


Рис. 5.2. Конфігурації зовнішньої планети.
Літерою *T* позначено Землю

Для зовнішньої планети також характерні особливі положення відносно Сонця і Землі, які називають протистоянням, сполученням і квадратурами (рис. 5.2). В момент протистояння планета перебуває в протилежному напрямку від Сонця відносно Землі, її відстань до Землі мінімальна, а блиск та кутовий розмір видимого диску максимальні. Її можна бачити всю ніч, й це є найкращим часом для спостережень.

З трикутників, які утворюють планети із Землею та Сонцем в елонгаціях та квадратурах, можна обчислити їхні відстані від Сонця в одиницях відстані Землі від Сонця. Цю важливу відстань так і називають *астрономічна одиниця* (*a. o.*, або – *au*, від англ. *astronomical unit*). Вона дорівнює 149597870,700 км.

Інтервал часу між двома послідовними однаковими конфігураціями планети (чи іншого тіла Сонячної системи) називають *синодичним періодом* обертання (від грецького *συνωδοσ* – збори, з'єднання). Наприклад, для Місяця синодичним періодом (синодичним місяцем) є проміжок часу, за який відбувається повна зміна фаз.

Інтервал часу, за який планета, якщо на неї дивитися з центра Сонця, здійснивши повний оберт на небі, займе те саме положення відносно зір є *зоряним*, або *сидеричним* (від латинського *sideris* – зоряний) періодом обертання планети. Іншими словами, це орбітальний період планети. Сидеричні періоди для планет наведено у таблиці 5.1.

Особливості руху планет, зокрема їхній петлеподібний рух, можна пояснити тим, що спостерігають ці світила із Землі, яка також обертається навколо Сонця (рис. 5.3). Планета зміщується в бік заходу, оскільки її орбіта розташована всередині орбіти Землі (це стосується нижніх планет), або тому, що у своєму русі навколо Сонця Земля обганяє планету (для верхніх планет).

СИДЕРИЧНІ ПЕРІОДИ ПЛАНЕТ

Меркурій	87,97 діб
Венера	224,7 діб
Земля	365,256360 діб
Марс	1,88 року
Юпітер	11,86 року
Сатурн	29,46 року
Уран	84,02 року
Нептун	164,78 року

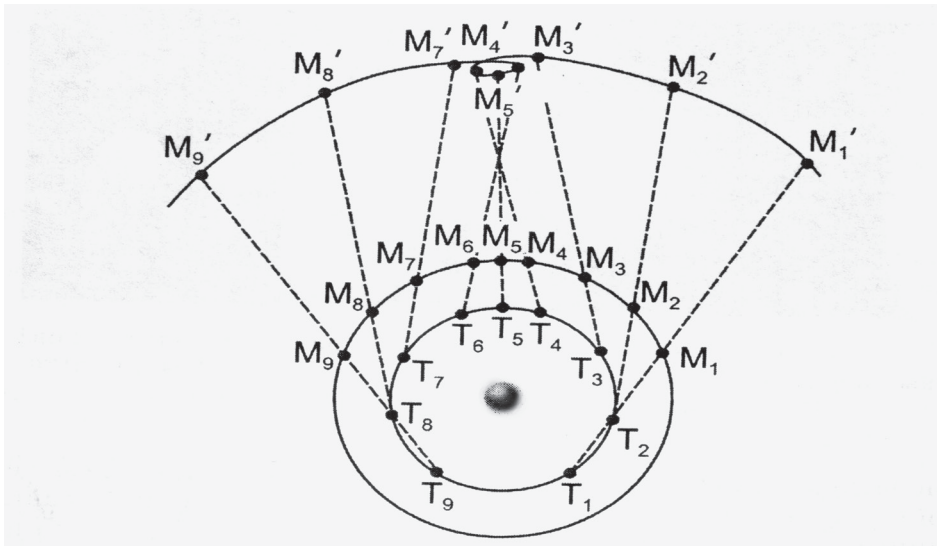


Рис. 5.3. Петлеподібний рух планети – наслідок зміщення як планети, так і Землі разом із спостерігачем

Спостерігач на рухомій Землі визначає звичайно не сидеричний, а синодичний період обертання планети S . Крім того, він знає сидеричний період обертання Землі навколо Сонця E . Однак цих двох значень якраз достатньо, щоб скласти рівняння синодичного руху і за його допомогою визначити сидеричний період T будь-якої планети. Нехай у початковий момент часу Земля, планета і Сонце перебували на прямій лінії (рис. 5.4).

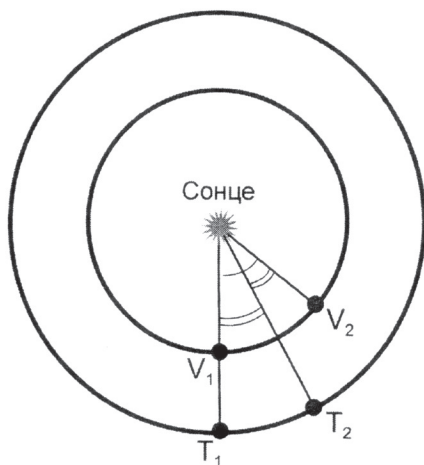


Рис. 5.4. До виведення рівняння синодичного руху

Візьмемо спочатку нижню планету, наприклад, Венеру. Якщо E і T – сидеричний період відповідно Землі і планети, то $360^\circ/E$ і $360^\circ/T$ – зміщення Землі і планети за добу відносно далеких зір. Різниця цих двох величин – це кут, на який планета випередила Землю за одну добу. Очевидно, за проміжок S ця планета випередить Землю на один оберт, тобто на 360° , отже $360^\circ/S$ – це і є відносне добуве зміщення цієї планети. Прирівнявши ці дві величини і скоротивши на 360° , отримаємо рівняння синодичного руху для нижньої планети:

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{T} - \frac{1}{E} \quad (5.1)$$

Таким же чином виводимо рівняння синодичного руху верхньої планети з тією лише різницею, що при цьому більшу кутову швидкість має Земля, тому від її добового зміщення віднімаємо зміщення планети, отримуючи:

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{E} - \frac{1}{T} \quad (5.2)$$

Наприклад, для Венери синодичний період $S = 583,9$ діб. Врахувавши, що зоряний період $E = 365,26$ діб, з рівняння (5.1) знаходимо значення сидеричного періоду обертання Венери $T = 224,7$ доби.

Закони Кеплера

Три закони, що описують рух планет навколо Сонця (а також інших тіл за умови великої різниці у масах між центральним тілом та супутником), було виведено Йоганесом Кеплером з аналізу особливостей руху Марса навколо Сонця. Спостереження, що служили базою для аналізу, були отримані данським астрономом Тихо Браге та самим Кеплером в охоплюють інтервал у більш, ніж 20 років.

Три закони Кеплера

1. Усі планети рухаються по еліпсах, в одному з фокусів котрих (спільному для всіх планет) перебуває Сонце (рис. 5.5).

2. Радіус-вектор планети за однакові проміжки часу описує однакові площі (рис. 5.6), або секторіальна швидкість планети є сталою.

3. Квадрати періодів обертання планет навколо Сонця відносяться як куби їхніх середніх відстаней від Сонця.

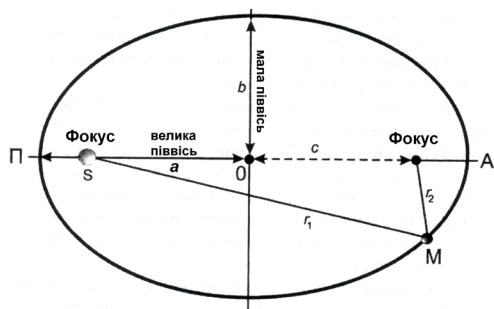


Рис. 5.5. Еліпс як орбіта планети; сума радіусів-векторів r_1 і r_2 будь-якої точки еліпса M дорівнює його великій вісі

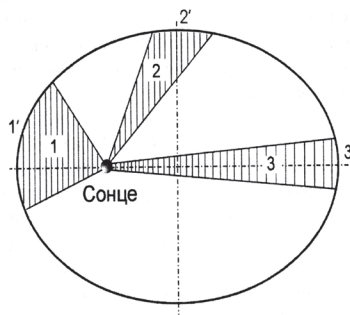


Рис. 5.6. Ілюстрація до другого закону Кеплера: площі 1, 2 і 3 – рівновеликі, це означає, що по дузі 1' планета рухається з більшою лінійною швидкістю, ніж по дугах 2' і 3'

Якщо періоди обертання двох планет навколо Сонця позначити T_1 і T_2 , а їхні середні відстані від Сонця (великі півосі еліпсів) – a_1 і a_2 , то третій закон має вигляд:

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3} \quad (5.3)$$

Закони Кеплера справедливі не лише для планет, а й для їхніх супутників, як природних, так і штучних. Якщо за одиниці відстані і часу взяти астрономічну одиницю і зоряний рік, то, зокрема, третій закон Кеплера набуде вигляду:

$$T^2 = a^3, \quad (5.4)$$

або, якщо період обертання T визначають у земних добах, то:

$$T = 365,26a^{\frac{3}{2}} \quad (5.5)$$

Закони Кеплера є одним з випадків розв'язку задачі двох тіл, першої задачі класичної небесної механіки.

Зокрема, під дією гравітаційного поля траєкторія тіла-супутника може бути еліпсом, параболою, або гіперболою. З уточненням, зробленим Ісааком Ньютоном, третій закон Кеплера записується так:

$$\frac{(M_1 + m_1)T_1^2}{(M_2 + m_2)T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3} \quad (5.6)$$

Це співвідношення дає змогу визначати маси планет, якщо в них є супутники, маси подвійних зір, якщо відомі періоди їхнього обертання і великі півосі їхніх орбіт. Фактично розв'язком є співвідношення:

$$\frac{T^2(M + m)}{a^3} = \frac{4\pi^2}{G} = \text{const.} \quad (5.7)$$

У такому вигляді його можна застосувати для довільної системи, яка складається з центрального тіла маси M і тіла маси m , що обертається навколо нього з періодом T по еліптичній орбіті з великою піввіссю a .

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Сформулюйте закони руху планет навколо Сонця.
2. Поясніть причину видимих петлеподібних рухів планет серед зір.
3. В яких конфігураціях внутрішні і зовнішні планети бувають на найближчих відстанях від Землі?
4. Що таке елонгація планети?
5. Дайте визначення сидеричного і синодичного періодів обертання планети навколо Сонця.

ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

1. Сидеричний період Марса $T = 1,881$ року. Пояснить, чому протистояння Марса відбувається не кожного року.

2. Найбільша елонгація Венери коливається внаслідок еліптичності її орбіти від 43° до 48° . Знайти максимальну і мінімальну відстань планети від Сонця.

3. З даних таблиці 5.1 за допомогою третього закону Кеплера знайти середню відстань Венери від Сонця. Чому результати не збігаються з отриманими у завданні 2?

4. Обчислити синодичні періоди для супутників Марса. Дані для обчислень знайти самостійно. Як рухаються Фобос та Деймос для спостерігача на Марсі?

5. Визначити максимальну кутову відстань Землі від Сонця для спостерігача на Марсі.

6. Визначити максимальну кутову відстань Місяця від Землі для спостерігача на Марсі. Дані для розрахунків знайти самостійно.

7. Повноповоротний радіотелескоп РТ-70 було використано для сеансу радіолокації Венери 2–8 червня 1999 р. Обчислити час очікування повернення сигналу, якщо на момент здійснення радіолокації екліптична довгота Сонця була $121^\circ 05' 55''$, Венери – $75^\circ 17' 49''$. Вважати, що Венера розташована на екліптиці, а її орбіта – коло.

8. Петлеподібний рух планети. Протягом деякого часу турецький астрофотограф Тунк Тезель зробив серію знімків Марса (або якийсь іншої планети) опівночі. На загальному зображенні положення зір збігаються, і добре видно петлеподібний рух планети. Завдання (знімки неба та відповідні карти є у Додатку 7):

- Зорієнтуватися за сузір'ями на знімку та обрати потрібну карту.
- Ототожнити зображення неба та обрану карту.
- Виписати у робочий зошит сузір'я та яскраві зорі, які є в кадрі.
- Нанести на карту межі кадру.
- Як можна точніше визначити масштаб знімка.
- Позначити особливі точки на траєкторії планети.
- Позначити, якщо вони попадають у межі кадру та карти, точки рівнодень або сонцестоянь.
- Визначити розмір петлі зворотнього руху планети.
- Визначити, в яку пору року проводилися спостереження.
- Пояснити, чому визначений розмір дуги зворотнього руху не збігається з табличним (таблиця 5.2).

Таблиця 5.2

СЕРЕДНІЙ РОЗМІР ДУГИ ЗВОРОТНОГО РУХУ ПЛАНЕТ

Планета	Розмір	Тривалість зворотного руху
Меркурій	12°	17 ^d
Венера	16°	41
Марс	15°	70
Юпітер	10°	119
Сатурн	7°	136
Уран	4°	150
Нептун	3°	158

Тема № 6

ВИЗНАЧЕННЯ ЛІНІЙНИХ РОЗМІРІВ ДЕТАЛЕЙ ПОВЕРХНІ ТІЛ СОНЯЧНОЇ СИСТЕМИ

МЕТА ЗАВДАННЯ: ознайомитися з різними методами оцінки масштабу знімку тіла Сонячної системи. Навчитися визначати розміри окремих формацій на поверхні тіл Сонячної системи.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Визначення розмірів планет і деталей їхніх поверхонь засноване на визначенні масштабу та кутового розміру об'єкта. Якщо відомі добовий паралакс або відстань до об'єкта, то його розмір визначається з очевидних співвідношень.

Задача визначити розмір деталі за відомими розмірами тіла трохи складніша. Оскільки кратер, або інша деталь розташована на поверхні сферичного тіла, то для визначення лінійного розміру потрібно знайти розв'язок трикутника, вершини якого розташовано: в центрі тіла та краях деталі. На рис. 6.1 це трикутник CAB . На картинній площині центр тіла C проектується в центр зображення O (рис. 6.2).

Масштаб знімка можна визначити або за повним зображенням об'єкта, або за частиною його диска (рис. 6.3). Для цього проводиться хорда, що стягує дугу частини диска тіла на знімку. Виміривши висоту хорди $OO' h$ та її довжину $2a$, можна обчислити радіус зображення тіла:

$$R^2 = a^2 + (R - h)^2 \quad (6.1)$$

$$R = \frac{a^2 + h^2}{2h} \quad (6.2)$$

За обчисленим та реальним радіусами тіла можна визначити масштаб знімка. Якщо кратер лежить поблизу центра зображення астероїда, або протуберанець видно на лімбі Сонця, реальний розмір розраховується за масштабом.

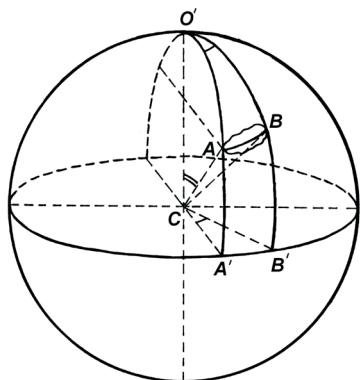


Рис. 6.1. Сферичний трикутник AOB для визначення кутового розміру деталі AB на поверхні тіла. Промінь зору показано стрілками

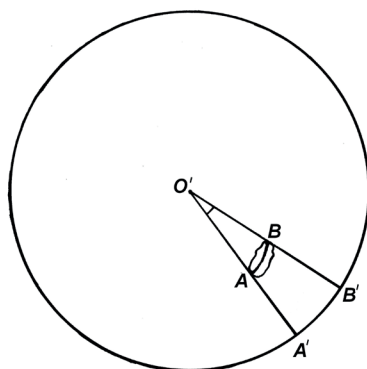


Рис. 6.2. Проекція сферичного трикутника AOB та деталі AB на поверхні тіла на площину фотографії відповідно до рис. 6.1

У загальному випадку ми отримуємо знімок з деталями, які видно під деяким кутом. В цьому випадку форма і розміри деталі є спотвореними проекцією. Для обчислення розміру деталі треба розглянути сферичний трикутник на поверхні тіла (рис. 6.4 відповідно до рис. 6.1 та рис. 6.2).

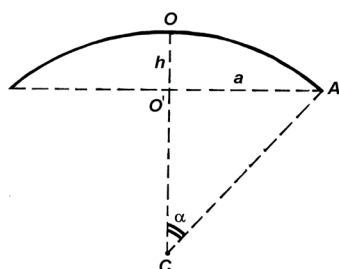


Рис. 6.3. Перетин сфери, наведеної на рис. 6.1, площиною OCA

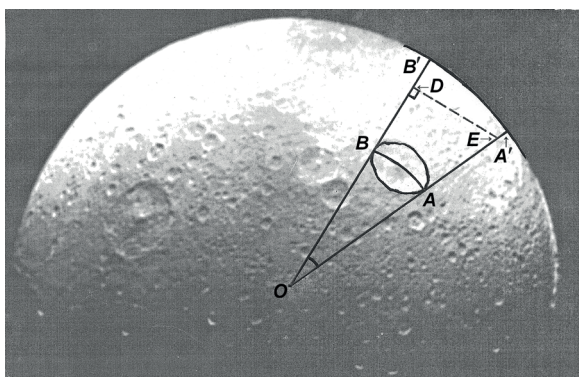


Рис. 6.4. Зображення супутника Сатурна Діоні з побудованим трикутником

При проекції сферичного трикутника OAB дуги OA та OB перетворюються на відрізки. Дуга OA , що стягує центральний кут α (рис. 6.3), перетворюється на відрізок $O'A$.

Очевидно, що:

$$\sin \sphericalangle OA = \sin \alpha = \frac{O'A}{CA} = \frac{O'A}{R} \quad (6.3)$$

Для отримання результату потрібно виміряти радіус зображення астероїда, відрізки OA , OB та відрізки OA' , $A'D$ для обчислення косинуса кута AOB .

Остаточно дуга AB обчислюється в кутовій мірі за формулою косинуса сторони сферичного трикутника:

$$\cos \sphericalangle AB = \cos \sphericalangle OA \cdot \cos \sphericalangle OB + \sin \sphericalangle OA \sin \sphericalangle OB \cos \sphericalangle AOB \quad (6.4)$$

Остаточно кутовий розмір перераховується в лінійний.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Що таке масштаб знімку в астрономії?
2. Чому не можна використовувати масштаб для обчислення розмірів великих деталей поверхні сферичного тіла?
3. Яким чином вимірюється паралакс Сонця?
4. Які кратери на Місяці, крім Тихо, мають системи променів? На яких тілах Сонячної системи ще є системи променів?

ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

1. За знімком одного з супутників планет-гігантів (Діона, Рея, Мімас, Япет) визначити розмір кратера на поверхні тіла.
2. Визначити висоту вулканічного султана на супутнику Юпітера Іо.
3. Обчислити ексцентриситет орбіти Місяця за його зображеннями у перигеї та апогеї.
4. Визначити довжину Прямої Стіни на Місяці, знаючи розміри найближчих кратерів.
5. Визначити довжину променів від кратеру Дебюссі на Меркурії.
6. Визначити швидкість руху протуберанця на Сонці за чотирма стоп-кадрами з відео його розвитку, отриманого 21 квітня 2015 року.

**Робочий матеріал для завдання 1
(Credit NASA, Cassini)**

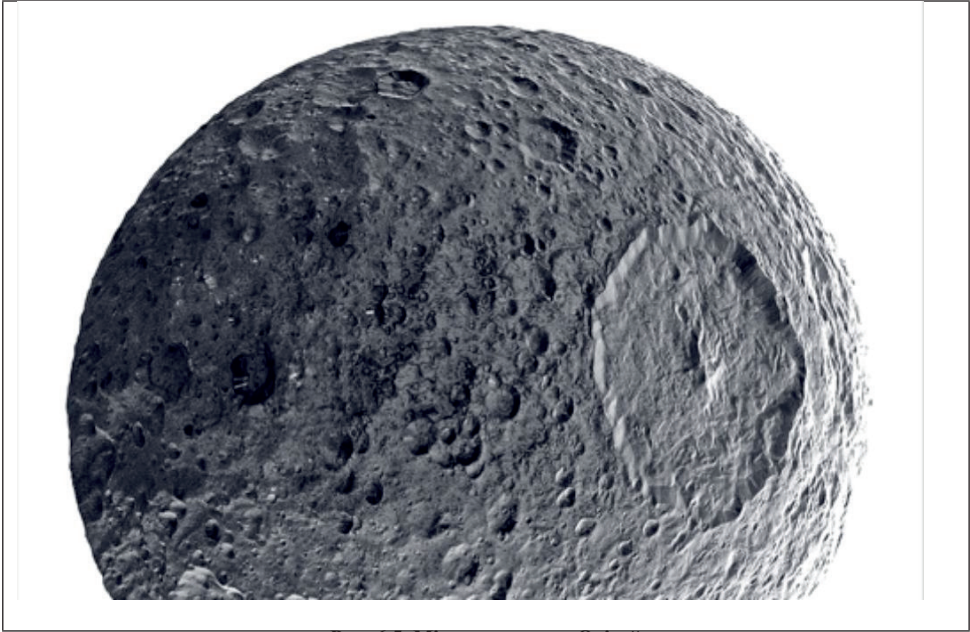


Рис. 6.5. Мімас та кратер Одісей

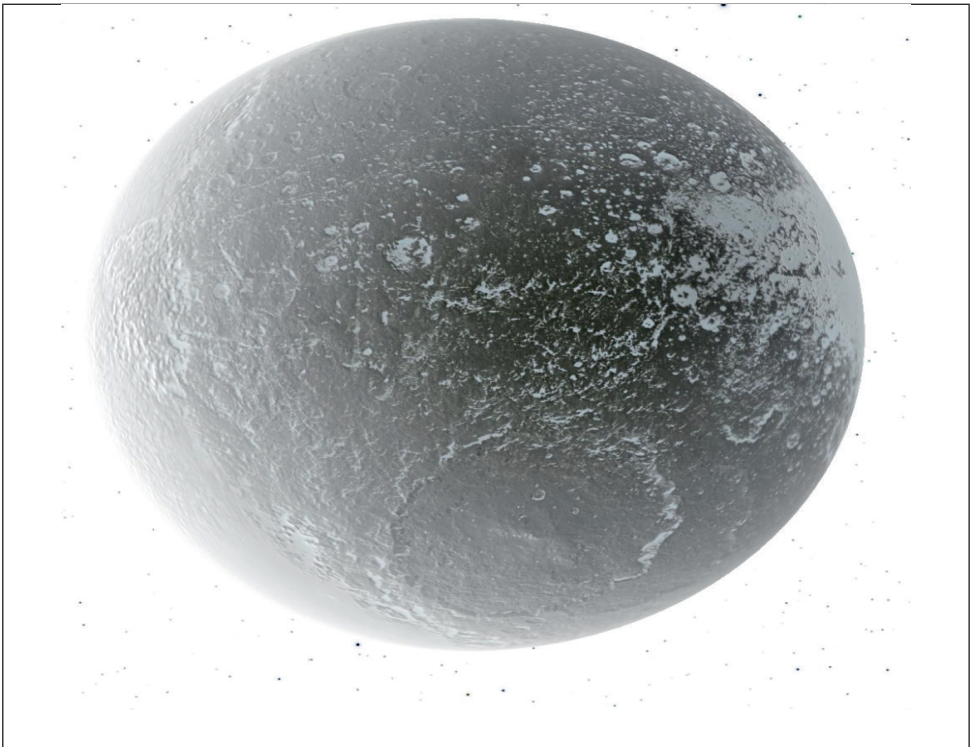


Рис. 6.6. Япет

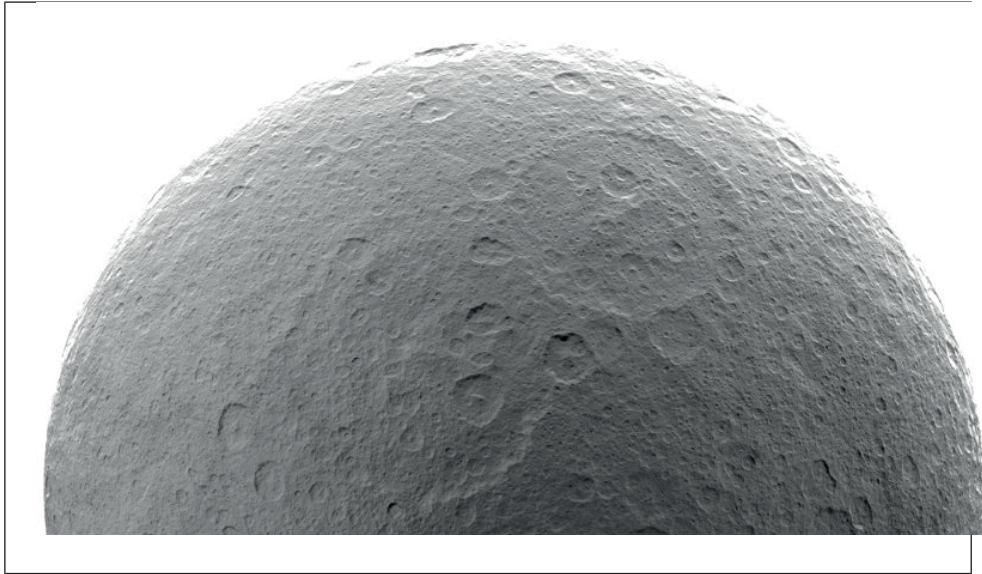


Рис. 6.7. Рея

Робочий матеріал для завдання 2 (Credit NASA, New Horizons).

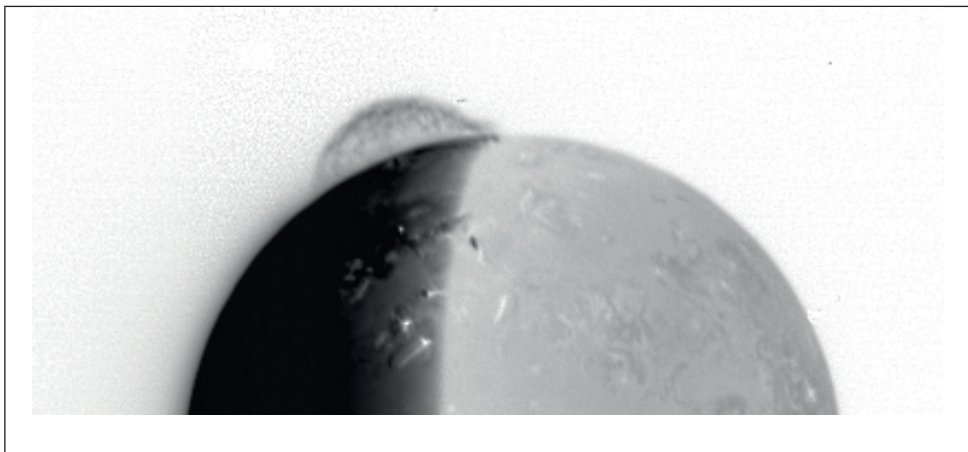


Рис. 6.8. Іо

Робочий матеріал для завдання 3 (NASA, APOD)

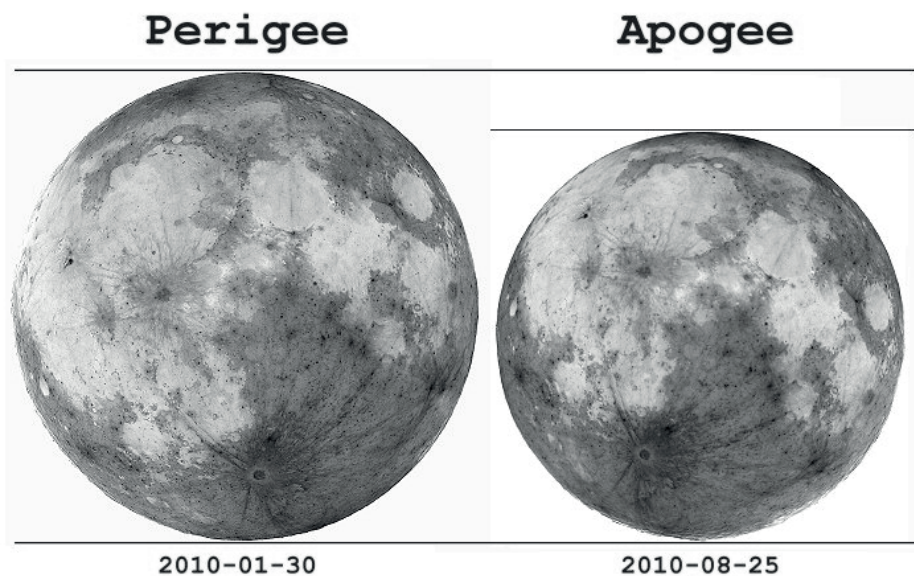


Рис. 6.9. Місяць у перигеї та апогеї

Робочий матеріал для завдання 4

Пряма Стіна (The Straight Wall, Rupes Recta) – найвідоміший тектонічний розлом на поверхні Місяця, розташований поблизу східного берега Моря Хмар (Mare Nubium). Проте спостерігати її можна тільки на 8-й та 21-й день Місяця.

Таблиця 6.1

ДЕЯКІ УТВРЕННЯ НА ПОВЕРНІ МІСЯЦЯ

№	Назва	Розмір
1.	Море Хмар (Mare Nubium)	750–850 км
2.	Кратер Арзахель (Crater: Arzachel)	97 км
3.	Кратер Альфонс (Crater: Alphonsus)	111 км
4.	Кратер Птолемей (Walled plain: Ptolemaeus)	154 км
6.	Кратер Табіт (Crater: Thebit)	55 км
	Кратер Табіт А (Crater: Thebit A)	20 км
7.	Кратер Пурбах (Crater: Purbach)	115 км

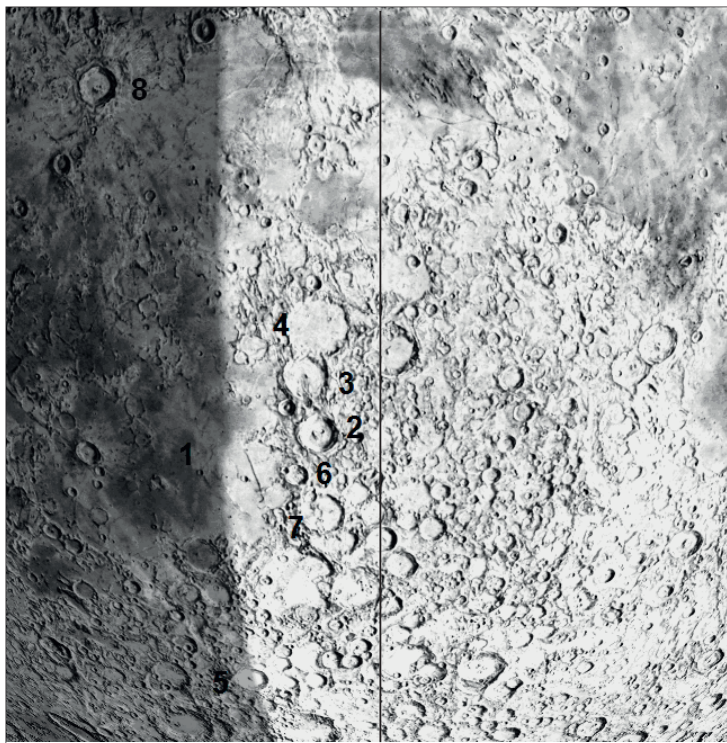


Рис. 6.10. Карта ділянки Місяця. Пряма позначає нульовий меридіан Місяця. Карту було створено за допомогою Virtual Moon Atlas (P. Chevalley & C. Legrand)



Рис. 6.11. Реальна фотографія Місяця на 8-й день (АВТОР: Артем Читайло, Фотогалерея Астродрома), робочий матеріал

Робочий матеріал для завдання 5 (NASA, APOD)

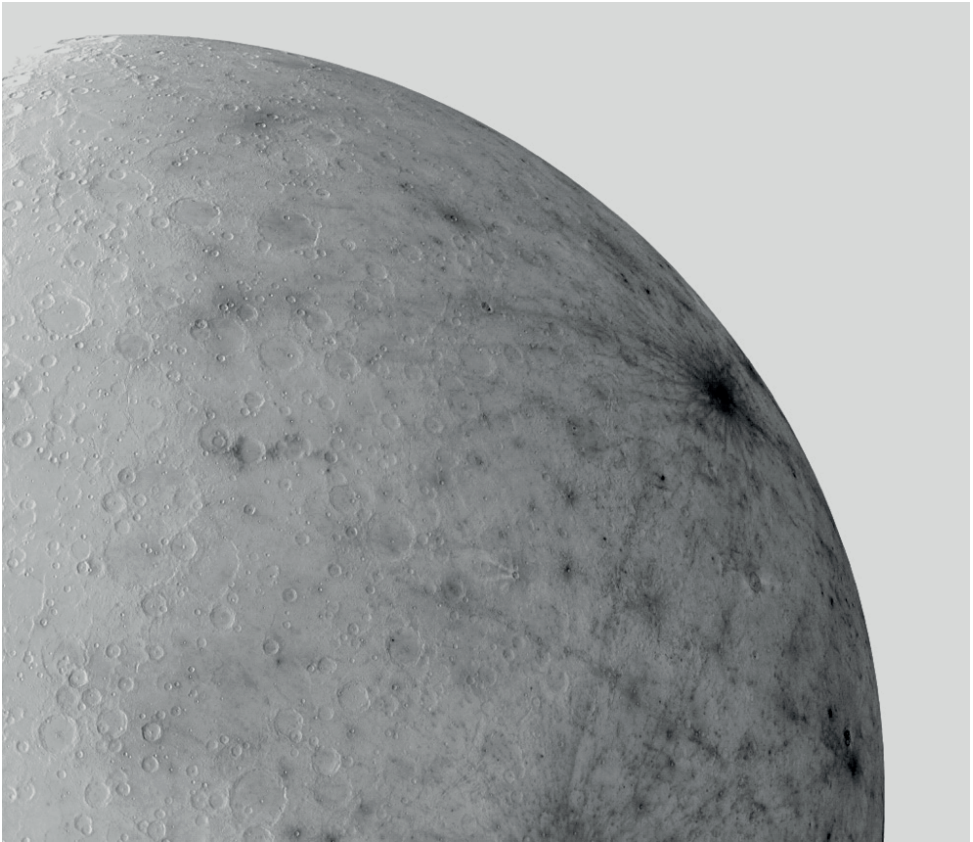


Рис. 6.12. Меркурій. Негативне зображення. Системи променів від кратерів. Знімок ширококутної камери зонда Мессенджер, NASA. Кратер Дебюссі – це яскравий (на негативі темний) кратер біля лімбу. Радіус Меркурія 2440 км

Робочий матеріал для завдання 6. Розвиток протуберанця





Рис. 6.13 Розвиток еруптивного протуберанця на Сонці 21 квітня 2015 року.
Час отримання кожного кадру наведено на самому кадрі.

Тема № 7

ТЕЛЕСКОПИ, ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТА ОПТИЧНІ СХЕМИ

МЕТА ЗАВДАННЯ: ознайомитися із основними схемами оптичних телескопів. Навчитися визначати характеристики телескопів та оцінювати можливості проведення спостережень для обраних об'єктів.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Увага! Під час будь-яких робіт з телескопом вдень **не можна дивитися у нього на Сонце** – це найкоротший шлях до сліпоти! Це правило потрібно завжди пам'ятати.

Для спостережень Сонця використовується спеціальний світлофільтр з пропусканням меншим, ніж 5% сонячного світла, або найбезпечніший прилад – сонячний екран, на який проектується зображення Сонця. На Сонце невеликий телескоп без автоматичного управління наводиться по тіні.

Вважається, що телескоп – оптична система, в якій довгофокусний об'єктив з короткофокусним окуляром створюють збільшене зображення віддалених об'єктів, був винайдений на початку XVII століття Гансом Ліпперсгеєм, Захарієм Янсенем та Джейкобом Метьюсом. З часів Галілео Галілея телескоп є основним астрономічним інструментом. У 20-му сторіччі астрономія стала всехвильовою, проте спостереження з поверхні Землі можна проводити тільки в оптичному та радіо-вікнах.

Термін «телескоп» використовується для будь-якого астрономічного приладу, що призначений для збору електромагнітного випромінювання та/або збільшенню кута, під яким можна бачити небесний об'єкт. Телескопами також називають прилади для збору та ресстрації черенковського випромінювання від космічних променів, нейтрино та гравітаційних хвиль.

Телескопи для спостережень електромагнітних хвиль, невидимих для людського ока, називають з додаванням діапазону хвиль, в якому вони працюють – інфрачервоні, ультрафіолетові, рентгенівські, гамма-і радіотелескопи. Телескопи для спостережень у видимій оком частині

електромагнітного спектра, називають телескопами без додавання слова оптичний.

Оптичні телескопи нашого часу розділяють на три типи:

- телескопи-рефрактори (лінзові);
- телескопи-рефлектори (дзеркальні);
- катадіоптричні системи (дзеркально-лінзові).

Катадіоптричні системи, до яких належать телескопи систем Максутова та Шмідта, об'єднують переваги лінзових та дзеркальних телескопів.

Проблеми під час використання телескопу пов'язані з хвильовою природою світла. Вже перші спроби астрономічних спостережень показали, що найпростіші оптичні схеми обтяжені аберациями, внаслідок чого зображення втрачають чіткість і не точно відповідають зображуваним об'єктам.

Хвильова природа світла є причиною того, що точкове джерело після проходження навіть ідеальної оптичної системи відтворюється як дифракційна картина. Теорія дифракції дає кутовий розмір першого дифракційного максимуму (рис. 7.1):

$$2\rho(\text{rad}) = 1.22 \frac{\lambda}{D}, \quad (7.1)$$

де 2ρ – діаметр першого дифракційного максимуму; λ – робоча довжина хвилі; D – діаметр вхідного отвору (апертура телескопу).

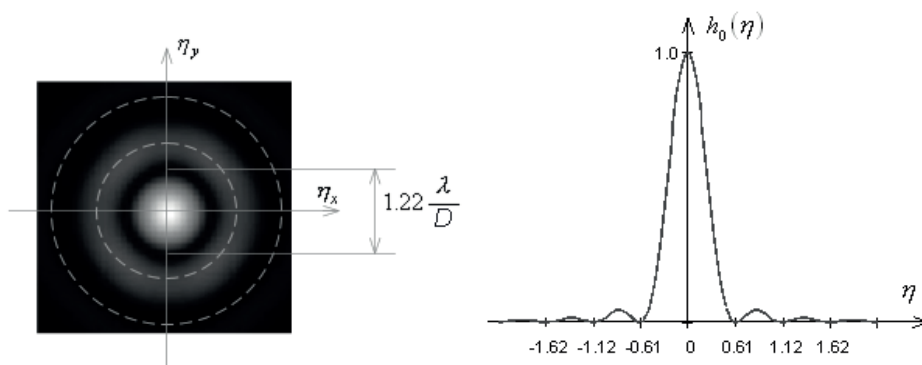


Рис. 7.1. Дифракція світла на круглому отворі.
Зображення у фокальній площині (ліворуч) та відповідний розподіл енергії

Робочою називають довжину хвилі, на яку оптична система з конкретним приймачем випромінювання дає найбільшу реакцію. Для телескопа у комбінації з оком такою довжиною хвилі буде $\lambda = 550$ нм (зелене світло).

В астрономії кружок найменшого діаметру також називають диском Ері (Ейрі).

Аберації оптичних систем спотворюють хвильовий фронт, і зображення точки стає більшим за диск Ері. Комбінуючи різні сорти скла у лінзових телескопах, можна істотно зменшити аберації. Вважається, що аберацію скомпенсовано, якщо відхилення хвильового фронту від ідеального менше за $\lambda/4$ – критерій Релея для хвильового фронту. У цьому випадку розмір зображення точки буде дорівнювати диску Ері. Для оптичних поверхонь критерій Релея жорсткіший: $\lambda/8$ для звичайних поверхонь та $\lambda/16$ для складних оптичних систем.

У лінзових об'єктивів у першу чергу виправляють *хроматичну аберацію*. Промені різних кольорів завдяки залежності показника заломлення від довжини хвилі фокусуються на різних відстанях від оптичного центра об'єктива (рис 7.2, ліворуч; F_ϕ та F_ψ фокуси відповідно фіолетового та червоного променів). Об'єктив, в якому скомпенсовано цей недолік, називається *ахроматом*.

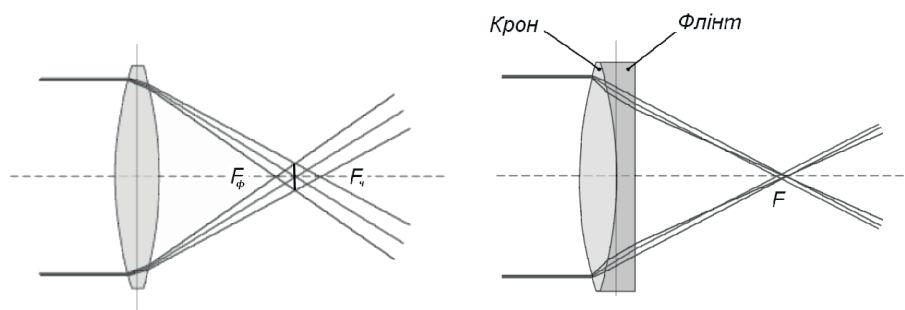


Рис. 7.2. Схема хроматичної аберації (ліворуч) та дволінзового ахромату, в якому цю аберацію виправлено

Найпростіший ахромат складається з двох лінз (наприклад, крону та флінту) з різними залежностями показника заломлення від довжини хвилі. До того ж, не можна звести в єдиний фокус всі промені оптичного діапазону, тому ахромати розраховують для деякої ділянки спектра. Для візуальних спостережень зводиться до спільного фокусу ділянка

від червоного до зеленого, тому що в умовах низької освітленості чутливість ока до голубих та синіх променів істотно падає.

Інші види аберацій є як у лінзових, так и у дзеркальних телескопів.

Це:

- *сферична аберція*, коли промені незалежно від довжини хвилі, фокусуються на різних відстанях від оптичного центра об'єктива (рис. 7.3);

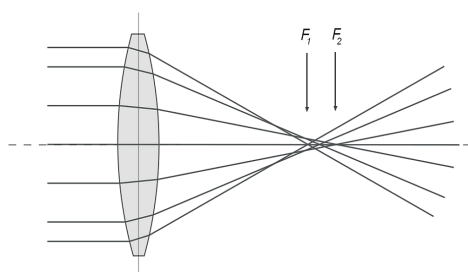


Рис. 7.3. Сферична аберція, $F_1 \neq F_2$

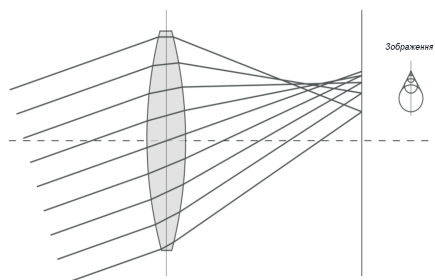


Рис. 7.4. Кома та її вплив на зображення (праворуч)

- *кома* (від латинського *coma* – волосся), тому що спотворені комою зображення зір у фокальній площині на віддаленні від головної оптичної осі нагадують зображення комети (рис. 7.4);
- *астигматизм*, коли вигляд зображення змінюється у разі переміщення приймача випромінювання вздовж оптичної осі; зазвичай астигматизм супроводжується кривизною поля, тобто фокальна поверхня не є площиною (рис. 7.5);

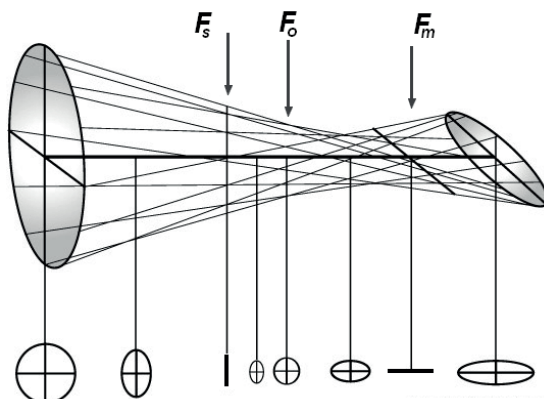


Рис. 7.5. Астигматизм. F_s та F_m фокуси у взаємно перпендикулярних перетинах, F_0 – положення найкращого фокусу, причому зображення точки є колом

- *дисторсія* спотворює геометричне відображення поля зору у фокальній площині: подушкоподібна додатна дисторсія прямокутну тестову сітку перетворює у гостру кутову форму, бочкова від’ємна дисторсія діє навпаки (рис. 7.6).

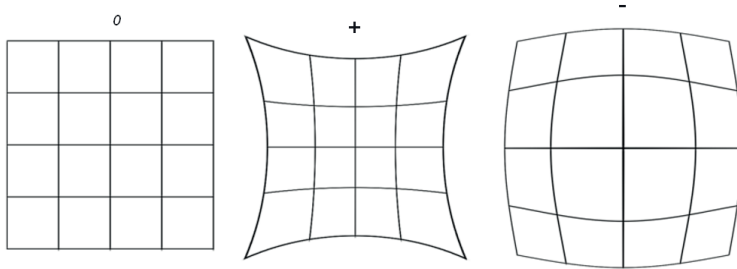


Рис. 7.6. Тестова прямокутна сітка (нульова дисторсія), подушкоподібна (+) та бочкова (-) дисторсія

Наявність абераций вимушує розробляти та використовувати різні оптичні схеми, які дозволяють отримати якісні зображення зоряного неба та окремих небесних об’єктів.

Основні оптичні схеми та характеристики телескопів

Серед доступних телескопів нині найчастіше зустрічаються дволінзові ахромати з набором об’єктивів, або дзеркальні телескопи з корекційною платівкою за схемою Шмідта. Але основні характеристики телескопа визначаються незалежно від оптичної схеми. До таких характеристик належать: збільшення, роздільна здатність, проникна сила – у випадку реєстрації тільки одного об’єкта оком або фотометром, і, додатково, масштаб та розмір поля зору в разі панорамних робіт із ПЗЗ приймачем.

Збільшенням називають відношення кута між двома точками у просторі зображень до кута у реальному просторі. Найпростіше це можна показати на схемі рефрактора (рис. 7.7).

Для простоти об’єктив та окуляр представляємо як збираючі оптичні системи. Довгофокусний об’єктив з фокальною відстанню F та короткофокусний окуляр з фокальною відстанню f розташовані так, що їхні оптичні осі продовжують одна одну, а передній фокус окуляра збігається із заднім фокусом об’єктива. У такому випадку ми можемо користуватися законами геометричної оптики. Дві зорі на небі розта-

шовані та кутовій відстані α . Відстань до зір набагато більша за діаметр об'єктива, тобто ми можемо вважати, що від обох зір надходять паралельні пучки променів.

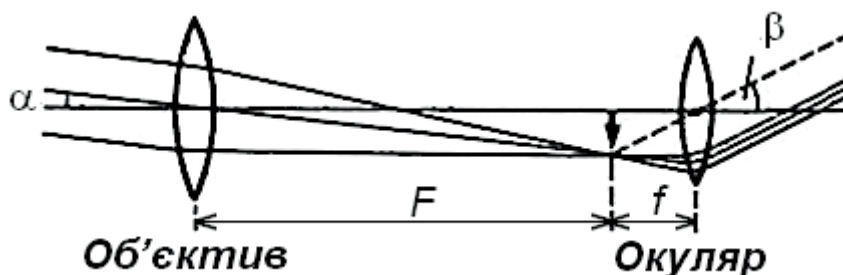


Рис. 7.7. Хід променів у рефракторі

Нехай перша із зір розташована у центрі поля зору. Її зображення перебуватиме на головній оптичній осі. У фокальній площині об'єктива зображення другої зірки перебуватиме в якомусь іншому місці фокальної площини (на рис. 7.7 вказано стрілкою). Якщо ми розглядатимемо це зображення в окуляр, то побачимо ці дві зірки на кутовій відстані β , і збільшення телескопу Γ буде дорівнювати відношенню кутів:

$$\Gamma = \frac{\beta}{\alpha} \quad (7.2)$$

Оскільки для малих кутів тангенс кута дорівнює його синусу та самому куту у радіанній мірі, то, використовуючи рис. 7.6 формулу (7.2) можна записати у вигляді:

$$\Gamma = \frac{F}{f} \quad (7.3)$$

Якщо спрямувати телескоп на світле небо (**в жодному разі не на Сонце!**) або будь-який світлий фон, за окуляром знайдеться місце, в якому буде видно різке зображення вхідного отвору телескопа, яке називають окулярним вікном. Легко довести, що діаметр окулярного вікна d менше за діаметр окуляра, та:

$$\frac{D}{d} = \frac{F}{f}, \quad \Gamma = \frac{\beta}{\alpha} = \frac{F}{f} = \frac{D}{d} \quad (7.4)$$

Це дає змогу дуже швидко оцінювати збільшення телескопа, навіть не знаючи фокусних відстаней. На практиці збільшення 200 разів та більше не використовується – турбулентні рухи в атмосфері псують зображення. Мінімальне збільшення визначається діаметром окулярного вікна – воно не має бути більшим за розмір адаптованої до темряви зіниці ока (7–8 мм). Якщо окулярне вікно менше або дорівнює за розміром зіниці ока, все світло, що пройшло крізь об'єктив, попаде на сітчатку, та зображення буде максимально яскравим.

Під час роботи з візуальним телескопом фокусуєчий пристрій (кремальєра) дає змогу скомпенсувати далеко- або короткозорість.

Роздільна здатність телескопа визначається розміром дифракційного зображення зорі у фокальній площині, тобто розміром диска Ері. *Роздільною здатністю* телескопа називають найменшу відстань між зорями, за якої їх можна побачити як окремі об'єкти.

Це можливо, коли дифракційний максимум зображення однієї зорі збігається з першим дифракційний мінімумом зображення іншої зорі (рис 7.8).

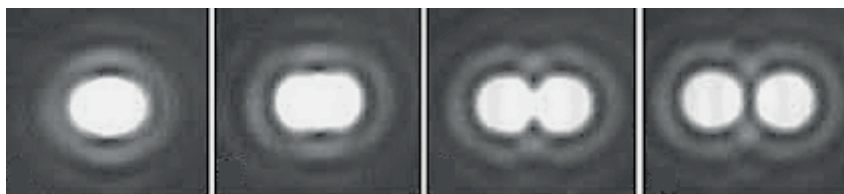
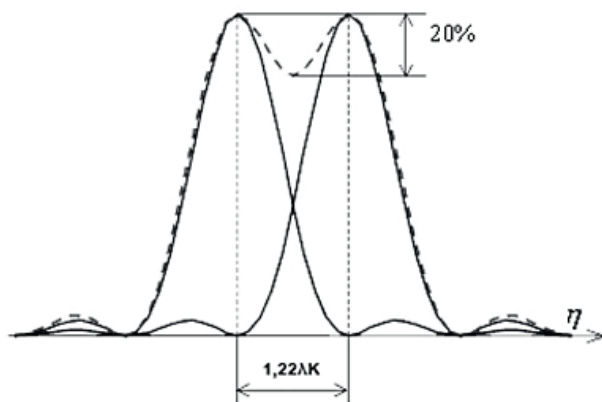


Рис. 7.8. Розподіл світла для двох зір рівного блиску, роздільна здатність та вигляд двох зір при зміні кутової відстані між ними

Роздільну здатність прийнято вимірювати у кутових секундах. Якщо у формулі (7.1) врахувати довжину хвилі та перевести радіани у секунди, то роздільну здатність можна розрахувати:

$$- \text{ для ока } \lambda = 550 \text{ нм, } \alpha'' = \frac{140}{D(\text{мм})};$$

- для приймачів випромінювання, які працюють у синій ділянці

$$\text{спектра } \lambda = 440 \text{ нм, } \alpha'' = \frac{110}{D(\text{мм})};$$

- для приймачів випромінювання, які працюють у червоній ділянці

$$\text{спектра, } \lambda = 690 \text{ нм, } \alpha'' = \frac{175}{D(\text{мм})}.$$

Роздільна здатність, яку обчислюють за наведеними формулами, є ідеалізованою, тобто мінімальним теоретично можливим значенням. У дійсності вона сильно залежить від стану атмосфери.

Проникну силу також найкраще оцінювати під час реальних спостережень, тому що ідеальні формули дають надто оптимістичну оцінку. *Проникною силою* називають зоряну величину найслабкішої зорі, яку при найкращих атмосферних умовах можна побачити (або зареєструвати з іншим приймачем випромінювання) у зеніті. Для грубої оцінки у разі візуальних спостережень можна користуватися формулою:

$$m = 2.1^m + 5 \lg D(\text{мм}) \quad (7.5)$$

Обчислення за формулою (7.5) дають теоретично можливе значення для спостережень у ясну ніч, при спокійній атмосфері, при відсутності на небі Місяця, у горах, тощо.

Під час роботи з панорамними приймачами випромінювання, коли у результаті отримуємо зображення деякої ділянки неба, потрібно вміти визначати масштаб у фокальній площині телескопа, та яку за розміром ділянку неба можна отримати під час зйомки. У такому випадку окуляр не використовується, а приймач випромінювання розташовується у фокальній площині (рис. 7.9). Телескоп, який працює за такою схемою, називається астрографом або астрокамерою. Очевидно, що зображення двох зір, які на небі знаходяться на кутовій відстані α , у фокальній площині будуть віддалені одна від одної на лінійну відстань l .

З рис. 7.9 можна зв'язати ці величини через фокусну відстань телескопа:

$$l = F \operatorname{tg} \alpha = F \frac{\alpha''}{206265''} \quad (7.6)$$

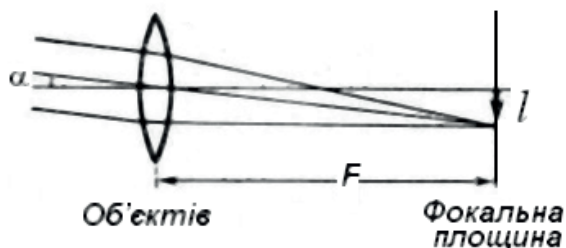


Рис. 7.9. До визначення масштабу астрографа

У формулі (7.6) враховано, що для малих кутів тангенс кута дорівнює його синусу та самому куту у радіанній мірі, а $206265''$ – це число кутових секунд в одному радіані. Формулу (7.6) можна перетворити на:

$$\frac{\alpha''}{l} = \frac{206265''}{F} = M. \quad (7.7)$$

У формулі (7.7) α'' та l відносяться до конкретної пари зір, $206265''$ – константа, а фокусна відстань F – характеристика телескопу, яку також можна вважати константою. *Масштаб M* – це ділянка неба в кутовій мірі, яка відповідає одній лінійній одиниці у фокальній площині астрографа, він повністю визначається фокусною відстанню телескопа. Масштаб вказують у кутових секундах на міліметр, у кутових мінутах або градусах на сантиметр. Розмір кадру визначається за масштабом та розміром світлочутливого елемента приймача випромінювання.

Оптичні схеми дзеркальних та катадіоптричних телескопів

Використання дзеркальних телескопів почалося з першого рефлектора, створеного Ісааком Ньютоном. Природним чином під час шліфування виникає сферична поверхня дзеркала. Інші форми поверхні дзеркала отримують спеціальними методами. Фокус, в якому збігаються промені, відбиті дзеркалом носить назву головного або первинного (рис. 7.10, 1).

Перші дзеркальні телескопи Ньютона мали невеликі діаметри, й тому у схемі Ньютона використовується додаткове діагональне плоске дзеркало, яке виводить зображення за межі труби (рис. 7.10, 2). Плоскі дзеркала використовують у різних схемах для зміни напрямку променів, але вони не впливають на фокальну відстань.

Введення в схему додаткових дзеркал з додатною або від'ємною кривизною спричиняє зміну фокусної відстані. Найчастіше у складній схемі фокусна відстань більша, ніж довжина труби телескопу. У схемі Кассегрена додаткове вторинне опукле дзеркало встановлено перед головним фокусом, а фокальна площина розташована за головним дзеркалом (рис. 7.11).

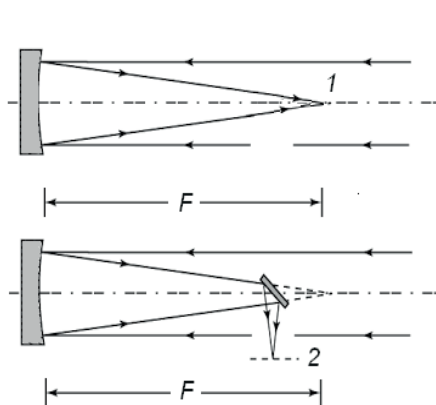


Рис. 7.10. Схеми головного фокуса 1 та фокуса Ньютона 2

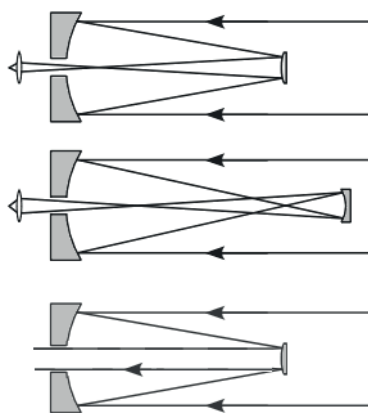


Рис. 7.11. Схеми Кассегрена, Грегорі та афокальна система Мерсенна

Схема Грегорі також збільшує фокальну відстань, але увігнуте вторинне дзеркало встановлюється за головним фокусом. Афокальна схема Мерсенна відтворює паралельність променів та використовується як вхідна оптика у спектральних спостереженнях (рис. 7.11).

Фокальну відстань складної системи називають *еквівалентною*, тобто це є фокальна відстань телескопа, який дає таке саме збільшення або має той самий масштаб, як і складна схема.

У катадіоптричних системах вдається позбавитися майже всіх аберрацій завдяки використанню меніска (схема Максудова) або корекційної платівки складної форми (схема Шмідта), рис. 7.12. Остання схема виявилася найбільш технологічною, корекційна платівка, форма якої

описується рівнянням 4-го ступеня, виготовляється досить просто.

Обидві схеми найчастіше представлено комбінацією Шмідт-Кассегрен або Максутов-Кассегрен, причому вторинне дзеркало є частиною зворотної сторони корекційного елемента. Роздільна здатність для обох схем визначається не діаметром головного дзеркала, а дещо меншим діаметром корекційного елемента. Це пов'язано з тим, що і меніск, і корекційна платівка перетворюють паралельний пучок променів на такий, що розходиться.

Для роботи телескопи встановлюються на спеціальні штативи. Телескопи невеликих розмірів розміщують на так званому паралактичному штативі, в якого одна вісь – годинна (полярна), спрямована на полюс світу. У разі повороту відносно годинної осі змінюється годинний кут ділянки неба, на яку спрямовано телескоп. Годинниковий механізм (механічний або електричний) обертає телескоп зі швидкістю один оберт за зоряну добу, компенсуючи добове обертання неба. Інша вісь – вісь схилень, лежить у площині небесного екватору. Для наведення такого телескопу на небесний об'єкт потрібні координати першої екваторіальної системи.

Сучасні великі телескопи можуть бути встановлені на альт-азимутальному штативі (відповідає горизонтальній системі координат). Рухом таких телескопів керує комп'ютер.

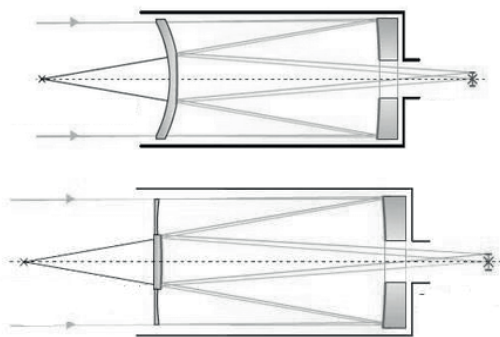


Рис. 7.12. Катадіоптричні схеми Максутов-Кассегрена та Шмідт-Кассегрен

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Чи можна наводити телескоп на Сонце для візуальних спостережень?
2. Яка аберація є тільки в рефракторів?
3. Які характеристики телескопа залежать від фокальної відстані?
4. Які характеристики телескопа залежать від діаметра вхідного отвору?

5. Чому у схемах Максудова та Шмідта роздільна здатність визначається за діаметром корекційного елемента?
6. Як впливає на зображення сферична аберація?
7. Чому одна з аберацій називається комою?
8. Що таке збільшення телескопа? Як його можна швидко виміряти? Як його можна обчислити?
9. Нарисуйте основні оптичні схеми телескопів.

ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

1. В Інтернеті під час протистоянь Марса або Юпітера часто з'являється фраза «Сьогодні можна побачити Юпітер розміром з Місяць!...» Кінець фразі «...якщо його спостерігати у телескоп», зазвичай, десь губиться. Яке збільшення телескопа потрібно використати, щоб Юпітер у протистоянні за кутовими розмірами зрівнявся з Місяцем (кутові розміри $30'$)? Які збільшення будуть потрібні для Марса у великому та далекому протистояннях?

2. Визначте діаметр телескопа, в який можна побачити окремо північний ϵ^1 та південний ϵ^2 компоненти (рис. 7.13) кратної системи ϵ Lyr? Всі чотири компоненти системи? Роздільна здатність ока $1'$.

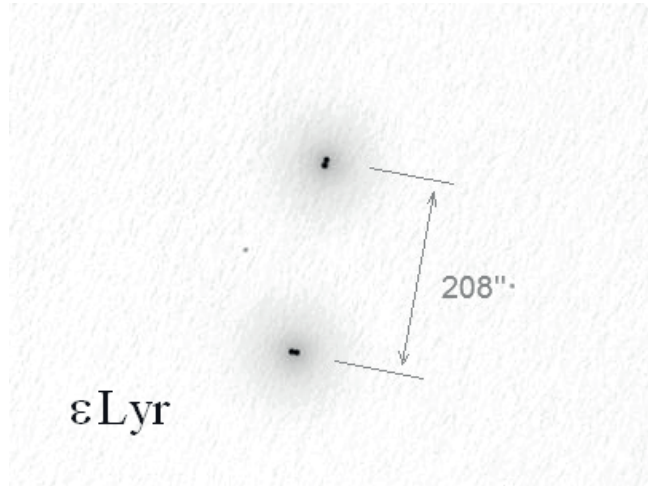


Рис. 7.13. Кратна система ϵ Lyr

Зорі системи ϵ^1 (північний компонент) з зоряними величинами $4,7^m$ та $6,2^m$, перебувають на кутовій відстані $2,6''$; зорі ϵ^2 (південний компонент) з зоряними величинами $5,1^m$ і $5,5^m$ – на кутовій відстані $2,8''$. За якого збільшення їх можна побачити?

3. Визначте характеристики деяких телескопів НДІ «Астрономічна обсерваторія» ОНУ імені І. І. Мечникова:

- Історичний рефрактор фірми «Кук та сини» з об'єктивом діаметром 165 мм, що у наш час працює як екскурсійний телескоп. Обчисліть його роздільну здатність;
- Телескоп АЗТ-3 (спостережна станція Маяки): діаметр головного дзеркала 457 мм, фокальна відстань 2030 мм, приймач випромінювання ПЗЗ матриця Sony ICX429ALL, робоча зона якої є 795×596 пікселів (6,837×4,947 мм). Визначити: масштаб у кутових секундах на міліметр та на піксель; робоче поле, що відповідає розміру матриці, розмір зображення зорі на матриці у міліметрах та пікселях у разі використання V та R світлофільтрів;
- VNT (Вихорлацький Народний Телескоп, виготовлений в Одесі та встановлений в Парке темного неба Полонини на північному сході Словацької Республіки поблизу кордонів з Польщею та Україною. Він використовується у межах договору про співпрацю між Одеським національним університетом імені І. І. Мечникова та Вихорлацькою народною обсерваторією, Словаччина). Діаметр головного дзеркала VNT дорівнює 1 м, оптична схема телескопу – Річі-Кретьєна. Визначити роздільну здатність VNT та порівняти її з роздільною здатністю телескопа АЗТ-3.

Більше інформації про телескопи НДІ «Астрономічна обсерваторія»: <http://astro-observ-odessa0.1gb.ua/>

4. Телескоп-рефлектор ZTS-702 астрономічної обсерваторії Миколаївського національного університету імені В. О. Сухомлинського, створений професором Н. Д. Каліненковим, з головним дзеркалом діаметром 702 мм та фокусною відстанню 2480 мм, має кілька вторинних дзеркал: пласке діагональне (для фокуса Ньютона) та 2 опуклих для реалізації оптичної схеми Кассегрена. Останні два дзеркала забезпечують еквівалентні фокальні відстані 13,685 та 64 метри. Як змінюється роздільна здатність та масштаб зображення телескопа, у випадку використання додаткових дзеркал? Відповідь поясніть.

Тема № 8

ВИДИМІ ТА АБСОЛЮТНІ ЗОРЯНІ ВЕЛИЧИНИ. ВИЗНАЧЕННЯ ВІДСТАНЕЙ ДО ЗІР. МОДУЛІ ВІДСТАНЕЙ

МЕТА ЗАВДАННЯ: ознайомитися із поняттями видима зоряна величина та абсолютна зоряна величина. Навчитися порівнювати потоки випромінювання від зір та відповідні зоряні величини. Засвоїти основні методи визначення відстаней до зір, поняття паралакса, одиниці відстаней до зір.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Зоряна величина – безрозмірна величина, яку введено, щоб охарактеризувати, як око людини реагує на блиск небесного тіла (кількість світла, що надходить від нього). Відповідно до психофізіологічного закону Вебера – Фехнера, зоряна величина є логарифмічною мірою освітленості від об'єкта. Позначається зоряна величина літерою *m* від англійського *magnitude*. Перше систематичне якісне визначення зоряних величин небесних об'єктів було виконано Гіппархом у II сторіччі до нашої ери. Він розподілив усі доступні неозброєному оку зорі на шість величин: найяскравіші він назвав зорями першої величини, найтьмяніші – шостої. Для проміжних величин вважалося, що, скажімо, зорі третьої величини настільки ж тьмяніші за зорі другої, наскільки вони яскравіші за зорі четвертої. Цей спосіб виміру блиску набув поширення завдяки зоряному каталогу Клавдія Птолемея Альмагесту. Оскільки оцінки блиску робилися просто оком, то зоряні величини отримали назву «видимі». Вони застосовувалися в астрономії до середини XIX сторіччя.

Більш точні оцінки, до десяткових часток зоряних величин, почав використовувати Фрідріх Аргеландер. Він розробив простий метод візуальних оцінок блиску досліджуваної зорі порівняно з навколишніми постійними зорями (метод ступенів), який не втратив актуальності й досі. Остаточно до цифрового вигляду шкалу зоряних величин перетворив Норман Погсон у 1856 році. Він формально визначив, що зоря першої величини рівно у 100 разів яскравіша за зорю шостої величини.

Оскільки відповідно до закону Вебера – Фехнера зміна освітленості в однакову кількість разів сприймається оком як зміна на однакову величину, то різниця в одну зоряну величину відповідає зміні інтенсивності світла в $\sqrt[5]{100} \approx 2.512$ (ірраціональне число, яке називають числом Погсона). Пізніше було прийнято за визначенням, що

$$m_1 - m_2 = -2.51 \lg \frac{E_1}{E_2} \quad (8.1)$$

де: m_1 та m_2 – зоряні величини об'єктів, E_1 та E_2 освітленості, що створюються ними. Знак «–» вказує на обернену шкалу: найяскравіші зорі мають меншу зоряну величину, ніж слабкіші.

Відповідно до формулі (8.1) зоряну величину можна визначати з точністю до сотих та тисячних, а також ввести від'ємні зоряні величини.

Психофізичний закон Вебера – Фехнера – це емпіричний закон, що пов'язує інтенсивність подразника з інтенсивністю реакції на нього живого організму. Його можна сформулювати наступним чином: інтенсивність реакції організму пропорційна логарифму інтенсивності подразника. Шкала зоряних величин об'єктів, яку було введено Гіппархом, саме тому є логарифмічною. Внаслідок цього закону для розрізнення яскравості двох джерел світла необхідно, щоб їхня яскравість відрізнялася приблизно на 1%. Це значення залежить від загальної освітленості та зменшується для невеликих потоків. Водночас для невеликих потоків око втрачає чутливість й до кольорового зору.

В астрономії використовують два різні визначення зоряної величини: видима величина і абсолютна величина. Видима зоряна величина (m) – це блиск об'єкта, на нічному небі Землі, тоді як абсолютна величина (M) відповідає блиску об'єкта, якби він перебував на стандартній відстані від спостерігача. За стандартну відстань було обрано 10 парсеків для об'єктів за межами Сонячної системи та 1 астрономічну одиницю для планет і малих тіл Сонячної системи.

Якщо зоря перебуває на відстані r парсек, що відповідає паралаксу π у кутових секундах, то з формули (8.1) можна дістати:

$$m - M = -2.51 \lg \frac{I_0/r^2}{I_0/10^2} = -51 \lg \frac{10}{r} = 51 \lg r - 5 \quad (8.2)$$

або, з урахуванням:

$$r = \frac{1}{\pi} \quad (8.3)$$

$$M = m + 5 - 5 \lg r = m + 5 + 5 \lg \pi \quad (8.4)$$

У формулах (8.2) – (8.4) використовується поняття річного паралакса. Він дорівнює куту, під яким із зорі видно 1 астрономічну одиницю, перпендикулярну променю зору; він вимірюється у кутових секундах. Для будь-якої зорі паралакс істотно менший за 1».

Різниця $m - M$ називається модулем відстані, або, точніше, візуальним модулем відстані, оскільки не враховує можливе міжзоряне поглинання. Якщо значення m можна скоригувати за міжзоряне поглинання світла, то ми отримуємо істинний модуль відстані $(m - M)_0$.

Абсолютна зоряна величина дає змогу визначити світність зорі та навпаки. Зазвичай, світність зорі L визначають у світностях Сонця L_{\odot} .

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Дати визначення паралакса. Чим паралактичний еліпс відрізняється від абераційного (потрібну інформацію знайти самостійно)?
2. Чому шкала зоряних величин є оберненою?
3. Для чого вводиться абсолютна зоряна величина?
4. Чому загальна зоряна величина деякої подвійної зорі не дорівнює сумі зоряних величин її компонентів?
5. Що таке істинний модуль відстані? Чим він відрізняється від видимого модуля відстані?

ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

1. Сіріус (α CMa) та його супутник мають видимі зоряні величини $1,46^m$ та $8,40^m$. Радіус Сіріуса $1,7 R_{\odot}$. Оцініть розміри Сіріуса В, вважаючи їхні температури однаковими.

2. Яка кількість зір 6-ї зоряної величини створює на Землі таку ж саму освітленість, що й Вега?

3. Зоря Міра (o Ceti) змінює блиск від $2,0^m$ до $10,1^m$. Обчислити її світність у максимумі та мінімумі блиску (у світностях Сонця). Паралакс o Ceti – $0,01091''$. Відомості для Сонця знайти самостійно.

4. У скільки разів Марс у великому протистоянні яскравіший за далеке протистояння? Відповідні зоряні величини $-2,9^m$ (28 серпня 2003) та $-1,2^m$ (12 лютого 1995).

5. Кутова відстань між компонентами ε^1 та ε^2 кратної системи ε Луг дорівнює $208''$, її паралакс $0'',02$ (див. завдання 7.2). Визначить відстань до ε Луг та велику піввісь орбіти компонентів ε^1 та ε^2 .

6. У 386 році китайські літописці відмітили появу у сузір'ї Стрільця «зорі-гості». За сучасними оцінками її видима зоряна величина була $+1,5^m$, а відстань до зорі оцінюється у 16 000 світлових років. Визначити абсолютну зоряну величину зорі у максимумі блиску.

7. Галактика М 31 в сузір'ї Андромеди розташована на відстані $r \approx 0,7$ Мпк від нас, її видимий кутовий діаметр (по довжині) становить $200'$ і видима зоряна величина $m = 4,8^m$. Обчисліть лінійний діаметр, абсолютну зоряну величину і світність цієї галактики. За знімком (рис. 8.1) оцініть відстані між туманністю Андромеди та її супутниками М 32 і М 110. Чому ця оцінка не може мати задовільну точність?

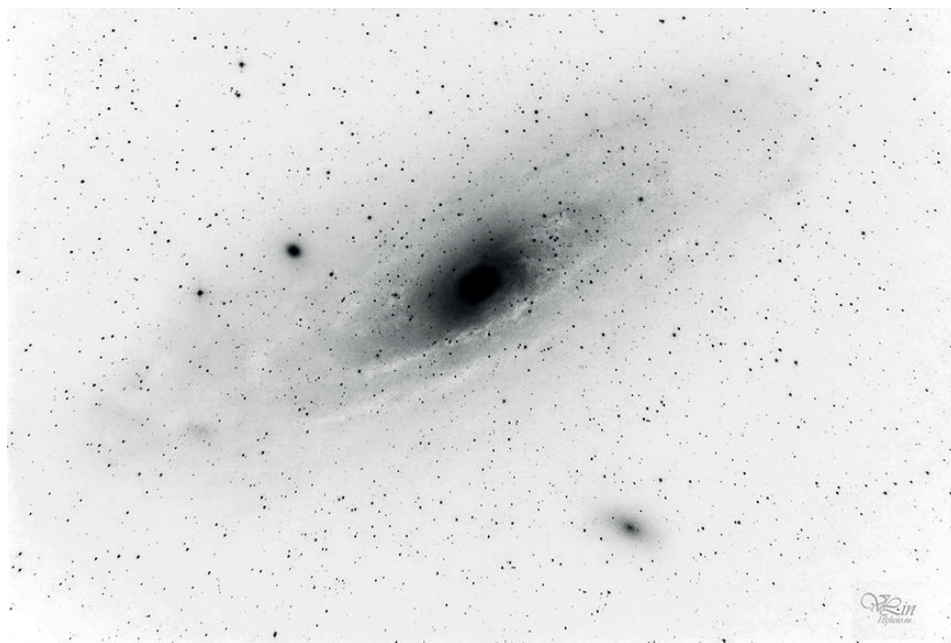


Рис. 8.1. Галактика М 31 та її супутники: М 32 і М 110

8. Визначити паралакси та модулі відстаней для зір таблиці 8.1.

Таблиця 8.1

ДЕЯКІ ЯСКРАВІ ЗОРІ

Зоря	Видима зоряна величина (m)	Абсолютна зоряна величина (m)	Паралакс	Модуль відстані	Сузір'я
Канопус	-0.72	-5.53			
Арктур	-0.04	0.2			
Проціон	0.38	2.6			
Бетельгейзе	0.50	-7.2			
Альгаїр	0.77	2.3			
Альдебаран	0.85	-0.3			
Денеб	1.25	-7.2			
Регул	1.35	-0.3			

ЗОРІ ТА ЇХНЯ ЕВОЛЮЦІЯ ДІАГРАМА ГЕРЦШПРУНГА – РАССЕЛА

МЕТА ЗАВДАННЯ: засвоїти поняття, пов'язані з фізикою зір, їхньою будовою – фізичні основи спектральної та двовимірної класифікації зір, зв'язок положення зорі на діаграмі Герцшпрунга – Рассела з її будовою та еволюційним станом.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Зорею називається небесний об'єкт, у якому йдуть, йшли або йтимуть природні реакції термоядерного синтезу. Відповідні стадії еволюції носять назви: зоря, зоряний залишок, протозоря.

Стабільність зорі визначається рівновагою її власної гравітації та внутрішнім тиском – газовим, променевим та ін. В астрофізиці для позначень маси та радіуса зорі часто використовують літери M та R , у готичному начертанні: \mathfrak{M} та \mathfrak{R} .

Маса, світність, радіус та хімічний склад зорі зазвичай приводяться в порівнянні з Сонцем з урахуванням значень: маса сонця $\mathfrak{M}_{\odot} = 1,9891 \times 10^{33}$ г, радіус $\mathfrak{R}_{\odot} = 6,960 \times 10^{10}$ см, світність $L_{\odot} = 3,827 \times 10^{26}$ Вт = $3,827 \times 10^{33}$ ерг/с. Маси зір перебувають у межах $0,075$ – $150 \mathfrak{M}_{\odot}$ (різниця 4 порядки), радіуси – $0,086$ – $1900 \mathfrak{R}_{\odot}$ (5 порядків), світність – $0,00001$ – $100000 L_{\odot}$ (10 порядків). Металічність зір, тобто доля всіх елементів, крім Гідрогену та Гелію, змінюється у межах від 0.5% до 4% . Найбільше значення металічності знайдено у зір, що нещодавно сформувалися поблизу головної площини диска Галактики.

Джерел енергії зір існує тільки 2: гравітаційна енергія, яка виділяється в процесі стискання речовини, та енергія термоядерного синтезу. Перше джерело діє на початкових стадіях формування зорі, друге – на всіх інших етапах життя зорі до формування зоряного залишку.

Розподіл енергії у спектрі зорі у першому наближенні відповідає випромінюванню абсолютно чорного тіла, яке описується формулою Планка. Це дає змогу визначити ефективну температуру T_{eff} як температуру абсолютно чорного тіла, що має ті самі розміри, що й зоря, та дає той самий потік енергії. Ефективна температура та світність зорі пов'язані співвідношенням:

$$L = 4\pi R^2 \sigma T_{eff}^4 \quad (9.1)$$

де $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м² К⁴) – стала Стефана – Больцмана.

Фотосфера зір дає неперервний спектр, на тлі якого спостерігаються спектральні лінії (або смуги) елементів, які присутні в атмосфері зорі, в міжзоряному середовищі та в атмосфері Землі. Останні лінії називають телуричними. Найчастіше у спектрах зір спостерігаються лінії поглинання. Найпоширенішим елементом у Всесвіті є Гідроген, тому в Гарвардській спектральній класифікації клас зорі спочатку визначався відповідно до інтенсивності саме його спектральних ліній, починаючи з латинської букви А. Надалі з'ясувалося, що насправді інтенсивності ліній того чи іншого елемента пов'язані з температурою зорі, і послідовність спектральних класів перетворилася на:

O – B – A – F – G – K – M,

яку можна запам'ятати, використовуючи якусь фразу, наприклад, класичну: «**O**h, **B**e **A** **F**ine **G**irl, **K**iss **M**e», або, «**М**орковь **К**ажется **Ж**ирафу **Ф**руктом, **А** **Б**егемоту – **О**вощем». Пізніше було додано ще декілька спектральних класів для зір – **R**, **N** та **S**, за температурою подібних до зір **K** та **M**, але в їхніх спектрах замість смуг поглинання оксиду титану спостерігаються смуги поглинання молекул вуглецю, ціану та оксиду цирконію. Для зір з мінімально можливою масою точніше – субзір (коричневих карликів) введено спеціальні спектральні класи **L** та **T**. Приклади спектрів зір різних спектральних класів наведено на рис. 9.1.

Спектральні класи **O**, **B**, **A** часто називають гарячими або ранніми, класи **F** і **G** – сонячними, класи **K** і **M** – холодними або пізніми спектральними класами. Інтервали між класами діляться на 10 підкласів кожний, від **O2** до **M8.5**. У разі використання так званих чутливих ліній температури та спектральні класи зір визначаються з хорошою точністю, відповідно до цього поділу.

За іншим параметром класифікації – світністю – зорі розподіляють на класи: надгіганти, гіганти, головна послідовність (нормальні карлики), білі карлики. Різниця між виглядом спектральних ліній для зір різних класів світності показана на рис. 9.2.

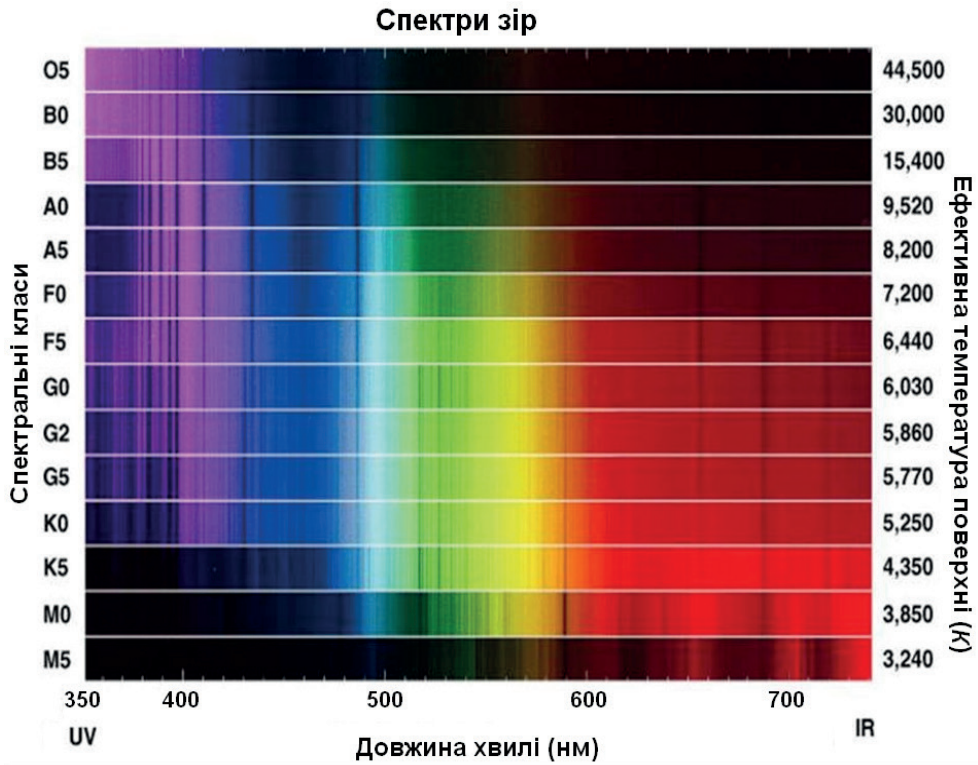


Рис. 9.1. Приклади спектрів зір різних спектральних класів з лініями та смугами поглинання

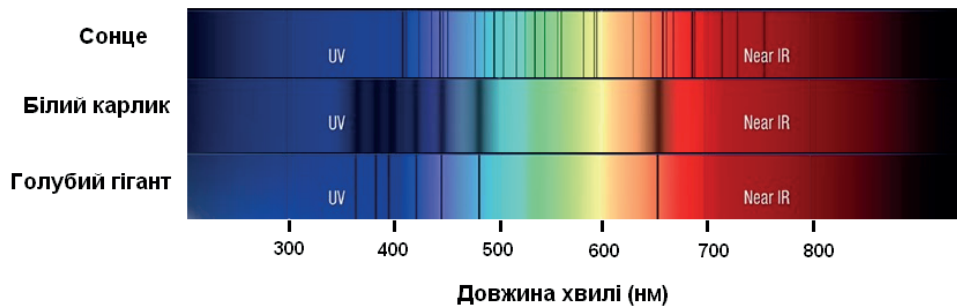


Рис. 9.2. Спектральні лінії зір ГП (Сонце), білого карлика та голубого гіганта

За двома параметрами класифікації було побудовано діаграму, що відображає залежність між світністю (чи абсолютною зоряною величиною) та спектральним класом (тобто, температурою поверхні) зорі. Її називають діаграма спектр – світність або температура – абсолютна зоряна величина, або показник кольору – абсолютна зоряна величина або діаграма Герцшпрунга – Рассела (Г – Р для скорочення) за прізвищами астрономів, які її побудували вперше (рис. 9.3).

Показник кольору, різниця зоряних величин зорі, виміряних у двох фотометричних смугах, є якісною оцінкою спектрального класу, що можна бачити з відповідності верхньої та нижньої осей на рис 9.3.

Енерговиділення в зорі ГП забезпечується завдяки реакціям термоядерного синтезу Гелію з Гідрогену. Коли після початкової стадії еволюції (гравітаційного стискання) в ядрі починаються реакції термоядерного синтезу, зоря на діаграмі Г – Р перебуває на лівій межі ГП. Цю межу називають початковою головною послідовністю (ПГП), або головною послідовністю нульового віку (Zero Age Main Sequence, ZAMS).

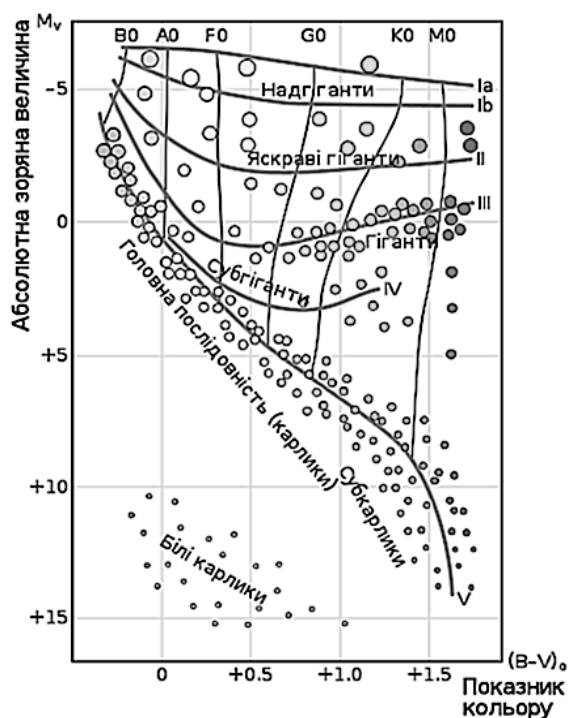


Рис. 9.3. Діаграма Герцшпрунга – Рассела

Горіння Гідрогену в зір ГП йде двома основними шляхами: для зір невеликої маси це протон-протонний цикл, для масивних зір – CNO-цикл. Коли Гідрогену в ядрі зорі стає замало для синтезу Гелію, зоря уходить з ГП в область червоних гігантів, де починаються термо-ядерні реакції горіння Гелію, в яких утворюються Карбон, Оксиген та більш важкі елементи. Класи світності позначаються римськими цифрами.

. VII клас світності – білі карлики – це зорі в яких реакції термоядерного синтезу вже закінчилися. За межами ГП еволюція зір йде швидко. Шлях зорі на діаграмі Г – Р називають еволюційним треком. Для зір ГП існує чітка залежність між масою та світністю, що є одним з проявів теореми Фогта – Рассела: будова та еволюція зорі повністю визначається її масою та хімічним складом на початковій головній послідовності. Основні етапи зоряної еволюції відповідно до маси на початковій головній послідовності наведено на схемі (рис. 9.4).

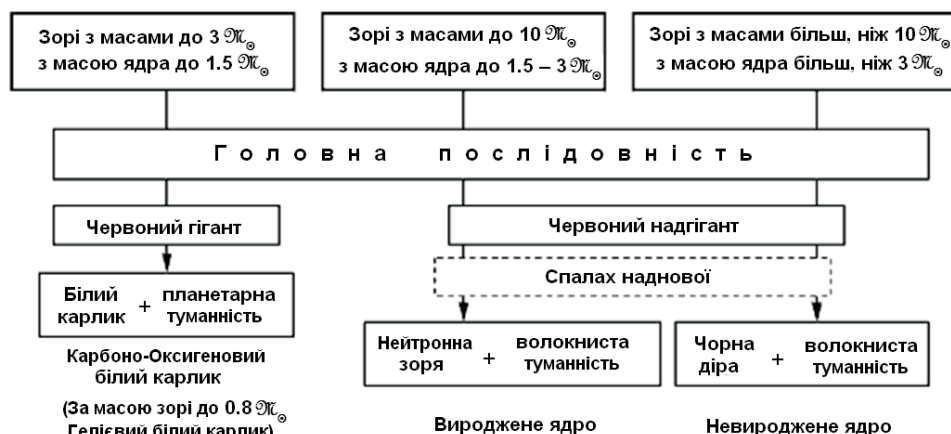


Рис. 9.4. Основні етапи еволюції зір з різними масами на ГП

Зорі головної послідовності відносяться до V класу світності. Для них існує чітка залежність «маса – абсолютна зоряна величина» (рис. 9.5).

Всі фізично змінні зорі розташовані поза ГП. Змінними називають зорі, які протягом часу змінюють свій блиск, причому йдеться не про шкалу еволюційного часу. Зміни блиску можуть бути періодичними та неперіодичними. До перших належать зорі, що пульсують, до других, наприклад, нові та наднові зорі.

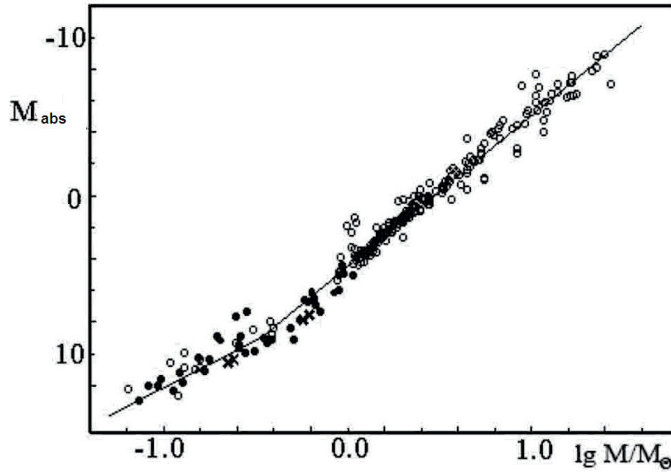


Рис. 9.5. Залежність маса – абсолютна зоряна величина для зір головної послідовності

Для дослідження змінних зір дуже важливо мати довгочасові ряди спостережень. Тому під час розквіту використання астрономами фотоемульсії було створено великі архіви автронегативів, так звані склотекі. Найбільша у світі склотека, Гарвардська (США), налічує десь 500 тисяч астронегативів, у Зонненберзі (Німеччина) зберігається приблизно 250 тисяч фотоплатівок. Третя за розміром склотека, що була створена за ініціативою видатного астронома професора Володимира Платоновича Цесевича, налічує 110 тисяч фотоплатівок. Вона зберігається в НДІ «Астрономічна обсерваторія» ОНУ імені І. І. Мечникова (<http://astro-observ-odessa0.1gb.ua/>). Більша частина архіву спостережень знаходиться на спостережній станції Маяки. У теперішній час архів активно переводиться у цифровий формат.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Про що свідчить велика кількість зір на ГП?
2. Що таке початкова головна послідовність?
3. Яка фізична величина змінюється вздовж ГП?
4. На яких стадіях еволюції зоря світить:
 - а) за рахунок енергії гравітаційного стискання?
 - б) за рахунок енергії термоядерного синтезу?
 - в) за рахунок енергії радіоактивного розпаду?
 - г) за рахунок теплової енергії?
 - д) за рахунок сусідньої зорі?

5. У яких змінних зір максимальна амплітуда зміни блиску?
6. Де на діаграмі Г – Р розташовуються змінні зорі?
7. Сформулюйте теорему Фогта – Рассела.
8. Яка зоря – з масою $1M_{\odot}$ або $20M_{\odot}$ довше перебуває на ГП?

ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

1. У шкільний телескоп з діаметром об'єктива 8 см вдалося побачити окремо компоненти подвійної зоряної системи. Відомо, що обидві зорі лежать на головній послідовності діаграми Г – Р. Абсолютні зоряні величини дорівнюють $M_{\text{abs1}} = 1^m$ та $M_{\text{abs2}} = 2^m$, період системи – 1500 років. Яка відстань до цієї системи та яку зоряну величину мала б ця подвійна зоря у разі спостережень неозброєним оком? До яких спектральних класів належать зорі?

Примітка: Вважати, що орбіти зір колові та лежать у картинній площині. Використати для розв'язку рис. 9.5.

2. Провести аналіз кривої блиску змінної зорі RT Aur (рис. 9.6) та дати відповіді на питання. Відомо, що період зміни блиску зорі дорівнює 3.728 діб?

- До якого типу змінних належить RT Aur?
- Скільки часу зоря збільшує блиск? Зменшує блиск?
- Чому дорівнює видима зоряна величина у максимумі блиску? У мінімумі?
- Чому дорівнює середнє значення видимої зоряної величини RT Aur?
- Чому дорівнює середня абсолютна зоряна величина RT Aur? Скористатися діаграмою, яка пов'язує середню абсолютну зоряну величину $M_{\text{сер}}$ для змінних такого типу з логарифмом періоду (закон Лівітт), рис 9.7.
- Чому дорівнює відстань до RT Aur?
- У максимумі блиску спектр зорі є F4, у мінімумі – G4. Оці-

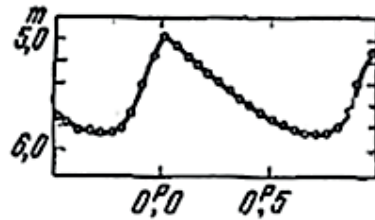


Рис. 9.6. Фазова крива блиску RT Aur

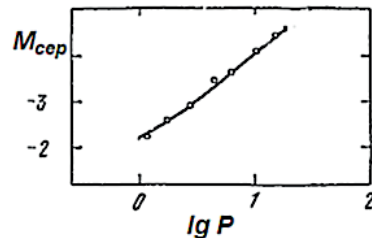


Рис. 9.7. Залежність період – абсолютна зоряна величина для цефеїд (закон Лівітт)

ніть температуру зорі у максимумі та мінімумі. Скористуйтеся рис. 9.8.

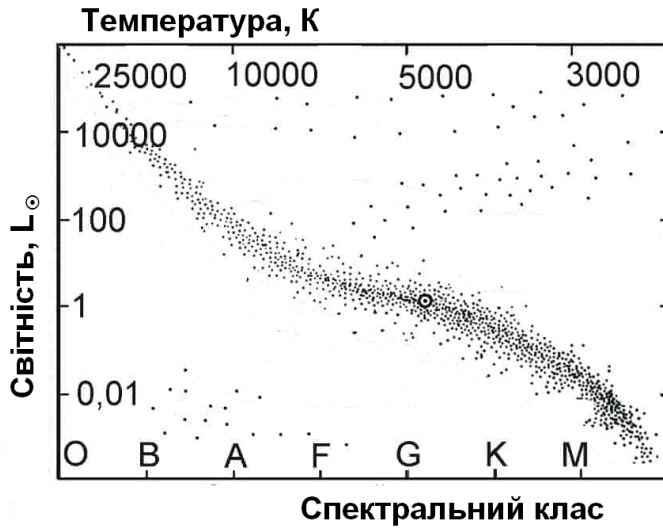


Рис. 9.8. Діаграма температура – світність

- Вкажіть положення RT Aur на діаграмі Герцшпрунга – Рассела у максимумі та мінімумі блиску.
- У скільки разів змінюється радіус зорі за період? Потемнінням диска зорі до краю знехтувати.

3. За кривою блиску у видимому (зеленому) V та червоному R світлі змінної зорі у сузір'ї Дельфіна визначити тип змінної зорі та амплітуду зміни її енерговиділення у видимому та червоному діапазонах спектра. Пояснити, з чим може бути пов'язана різниця блиску зорі в цих спектральних діапазонах. Для 10, 20, 30 та 40 доби визначити показник кольору зорі. За юліанськими датами визначити календарну дату максимуму блиску. Як, можливо, цю зорю було позначено?

Робочий матеріал до завдання 9.3

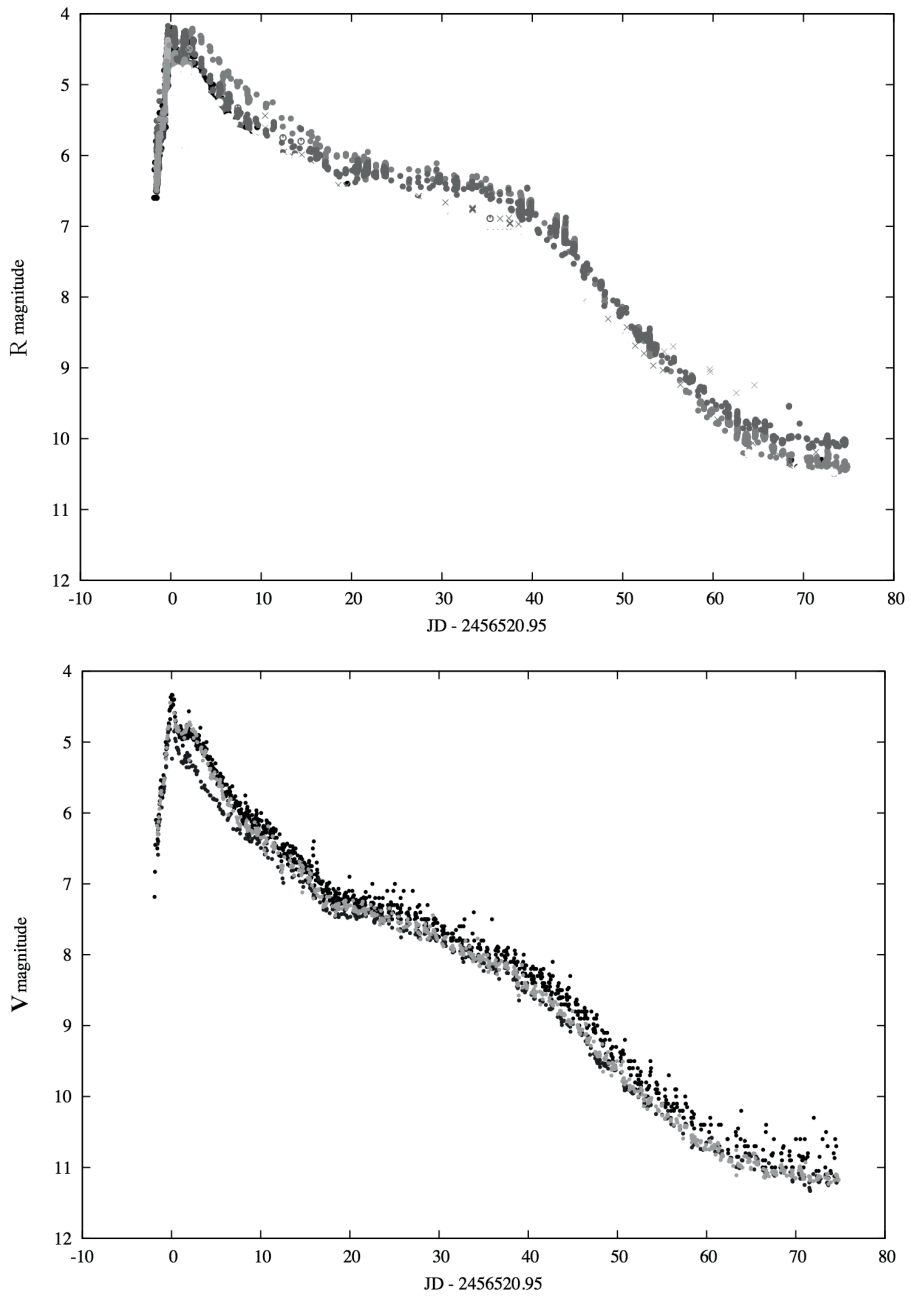


Рис. 9.9. Крива блиску деякої змінної зорі за даними сайту AAVSO в двох фотометричних смугах

ГАЛАКТИКИ. БУДОВА ТА КЛАСИФІКАЦІЯ

МЕТА ЗАВДАННЯ: ознайомитися с основами класифікації галактик та навчитися визначати морфологічний тип галактики.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Галактиками називають великі (до $\sim 10^{13}$ зір) ізольовані зоряні системи. Крім зір, у галактиках містяться газ і пил. В переважній більшості галактик основна баріонна маса зосереджена у зорях, наприклад, у нашій Галактиці на зорі припадає 96–98% її загальної маси (частка темної матерії ще обговорюється). Проте, у деяких неправильних галактиках маса газу (пил звичайно становить 1% від маси газу) може навіть перевищувати масу зір. Форми галактик надзвичайно різноманітні. Найбільш поширеною є класифікація галактик за морфологічними особливостями за схемою Е. Габбла¹ та її модифікованою версією Габбла – Сендиджа.

За морфологічними ознаками галактики поділяють на чотири типи: *еліптичні E*, *лінзоподібні S0*, *спіральні S* та *неправильні Ir*. На невеликих космологічних відстанях розподіл за типами є: E: S0: S: Ir = 3: 15: 72: 10%, і домінуючим типом є дискові (спіральні та лінзоподібні) галактики. Проте, за аналізом розподілу за типами у надглибоких оглядах телескопу Хаббла, які відповідають відстані 6 GLYrs (6 мільярдів світлових років, тобто віку Всесвіту всього 6 мільярдів років тому) розподіл вже інший: E: S0: S: Ir = 4: 13: 31: 52%. Основні типи галактик показано на рис. 10.1.

До *еліптичних галактик* належать галактики, зовнішні контури яких мають більш-менш правильну еліпсоподібну форму і яскравість яких плавно зменшується від центра до периферії. Вони позначаються символом E, після якого ставлять число n , що характеризує міру стиснення спостережуваного зображення галактики. Число n визначають зі співвідношення $n = \frac{a-b}{a}$, де a і b – відповідно велика і мала вісі спостережуваного зображення. Для круглого зображення $n = 0$. Зображення зі стисненням $n > 7$ не спостерігали. Середній спектральний клас еліптичних галактик – G4. Головним зоряним населенням еліптичних галактик

¹ Відповідно до англійської вимови прізвище *Hubble* повинне передаватися кирилицею, як *Хаббл*, проте, українська транслітерація вимагає писати Габбл (Габбл).

є зорі пізніх спектральних класів (II тип зоряного населення). Еліптичні галактики містять найменшу кількість газу і пилу порівняно з галактиками інших типів та існують у великому діапазоні мас: від велетенських з масою близько $10^{13}M_{\odot}$ до карликових з масою 10^5M_{\odot} .

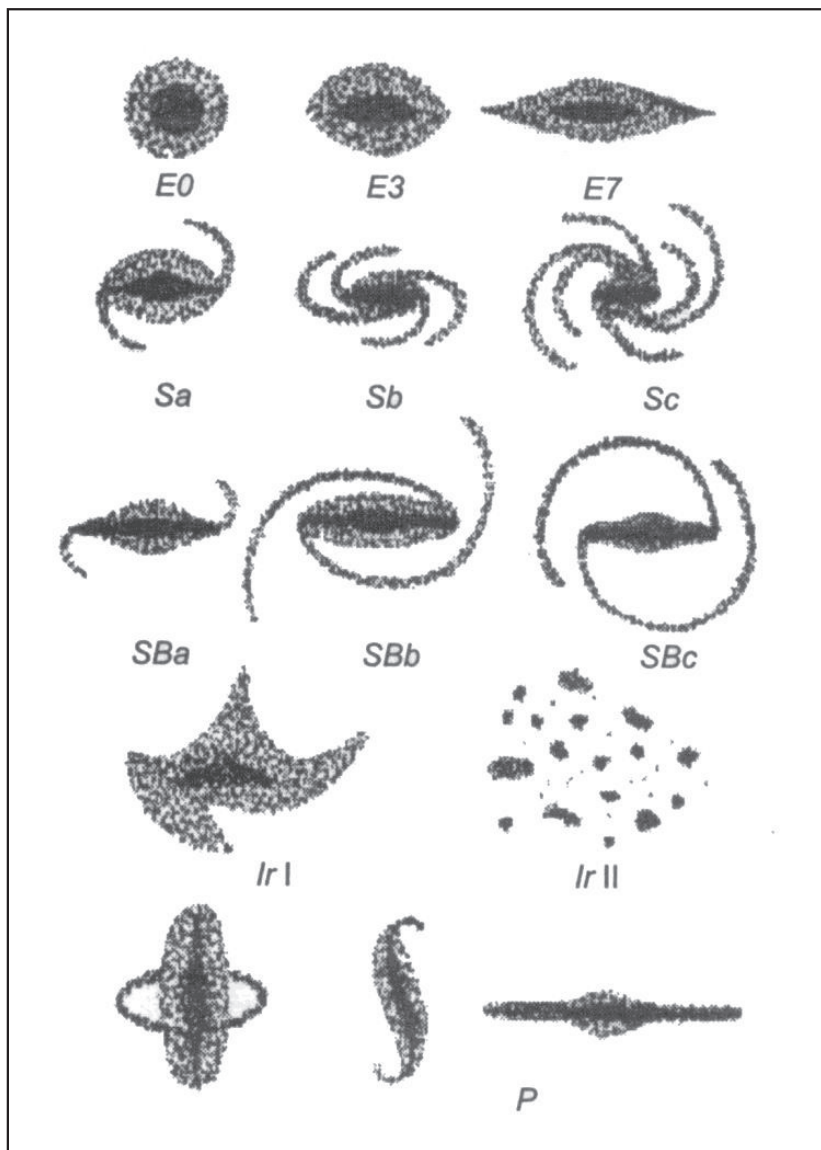


Рис. 10.1. Приклади деяких морфологічних типів галактик

Спіральні галактики – морфологічний клас галактик, найвиразнішою особливістю яких є наявність у них диска та спіральних рукавів. Центральне стовщення диска називають балджем. Якщо спіральні рукави починаються від балджу, такі спіралі називають нормальними і позначають як S. В інших спіральних галактик рукави починаються від перетину або бару, що проходить через центр галактики. Такі галактики називають галактиками з баром та позначають як SB. Кількість спіралей з перетином та без нього приблизно однакова, тому визначення «нормальні спіралі» поволі виходить з використання. Обидва типи поділяють на підтипи по мірі розвитку спіральних рукавів та співвідношення розмірів галактики і ядра.

Підтипи у класифікаційній схемі Габбла позначають як Sa, Sb, Sc або SBa SBb і SBc. У сучасних варіантах класифікації галактик, наприклад, у схемі Габбла – Сендиджа кількість підтипів збільшено.

Середній спектральний клас Sa і SBa галактик є G1.4, Sb і SBb – F9.6, Sc і SBc – F6.1. У спіральних галактиках багато голубих гарячих зір, які розташовані головним чином в спіральних рукавах (I тип зоряного населення). Ці галактики багаті на газ, який становить декілька відсотків від загальної маси галактики. Газ зосереджений у шарі завтовшки в кількисот парсеків у площині диска. В багатьох галактиках газ є і за межами оптичного зображення. Він перемішаний з пилом; саме пилом зумовлена темна смуга в зображеннях галактик, які спостерігають «з ребра». Наша Галактика теж є спіральною галактикою з баром типу SBb або SBc.

Лінзоподібні галактики подібні за контурами до еліптичних E7 і спіральних. Вони позначаються як S0 або SB0. Середній спектральний клас лінзоподібних галактик – G2.2. Вони відрізняються від спіральних галактик відсутністю спіральних рукавів та пилової смуги, а від еліптичних тим, що зменшення яскравості від центра до периферії є ступінчастим. В них розрізняють «лінзу» та слабкий «ореол».

Неправильні галактики – це галактики з неправильними зовнішніми контурами і нерівномірним розподілом поверхневої яскравості. Галактики клочастої структури, що не мають ядра, позначають Ir або Iг I. Галактики аморфної форми, які не мають клочастостей, – Ir або Iг II. У деяких неправильних галактик можна виділити елементи спіральних рукавів. Наші найближчі позагалактичні сусіди – Магелланові Хмари (Велика і Мала), також є неправильними галактиками.

Основні морфологічні типи галактики зазвичай розташовують на діаграмі, яку прийнято називати «камертоном Габбла» (рис. 10.2).

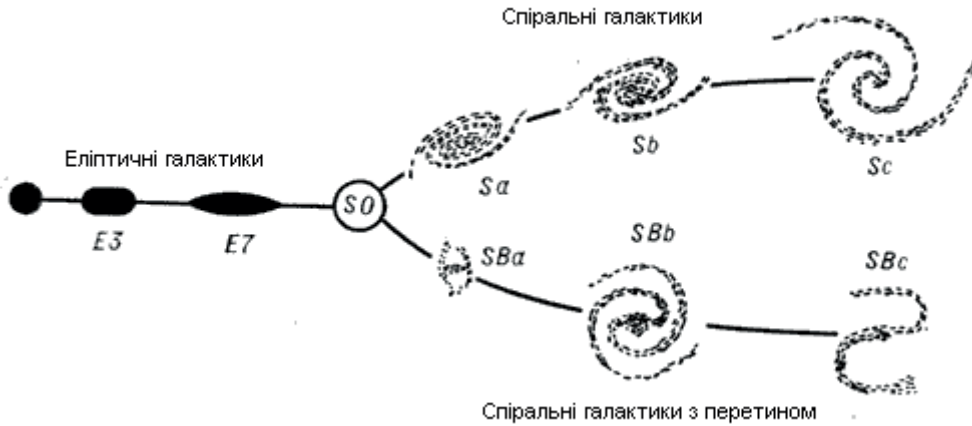


Рис. 10.2. Схема класифікації галактик за Е. Габблом

До класифікації Габбла не увійшли *пекулярні галактики*, тобто галактики з особливостями, які не дають підстав віднести їх до виділених морфологічних класів галактик. Серед них є *дископодібні, кільцеві, асиметричні* галактики і так звані *гамма-форми*. Окремим класом є *взаємодіючі* галактики. Звичайно це подвійні галактики, між якими спостерігаються світлі перемички, «хвости» тощо. Різновид пекулярних галактик – це *галактики з полярними кільцями*, вони мають зовнішнє кільце, нахилене до площини диска. Геометричні центри зовнішнього кільця і головного тіла галактики практично збігаються. Кут між площиною кільця і площиною галактики досягає 90° , хоча можливі відхилення в межах 25° . Від звичайних дискових галактик галактики з полярними кільцями, відрізняються тільки просторовим розподілом: їх не виявлено в *скупченнях галактик*. Очевидно, кільця там легко руйнуються.

Відстані до галактик визначаються різноманітними методами, які доповнюють один одного. Неточність визначенні відстаней призводить до істотних помилок в оцінці мас і світностей галактик та інших їхніх характеристик. До найближчих галактик можна визначати відстань *методом цефеїд*. Оскільки у цефеїд з періодом понад 40 діб фотографічні абсолютні зоряні величини $M_B \approx -6^m$, то їх можна спостерігати. Визначаючи їхні видимі величини m , обчислюють відстань як до них, так і до галактик, в яких вони знаходяться. *Метод стандартних свічок* – це використання будь-якого об'єкта, абсолютна зоряна величина якого відома. Це може бути нова або наднова зоря, кулясте скупчення; у раді-

одіапазоні це може бути *метод найяскравіших зон Н II*. Спостереження близьких галактик показали, що найяскравіші зони Н II у них мають приблизно однакові лінійні розміри – близько 200 пк. Тому вимірювання кутових діаметрів найяскравіших зон Н II у далеких галактик дає змогу визначати відстані до них.

Найкращою стандартною свічкою є наднові зорі типу Ia, абсолютна зоряна величина яких дорівнює $M_v = 19.3^m \pm 0.2^m$.

Для найвіддаленіших галактик мірою відстані є червоне зміщення. Спостереження показують, що лінії у спектрах усіх відомих галактик (за винятком декількох, найближчих до нас) зміщені у червоний бік. Цей ефект зумовлений рухом галактик з променевою швидкістю V у напрямку від спостерігача. Значення швидкості галактики за вимірним зміщенням ліній можна обчислити за формулою Доплера, якщо $\Delta\lambda$ істотно менше за λ :

$$V = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} c, \quad (10.1)$$

де c – швидкість світла.

Після того, як визначили відстані до декількох десятків галактик, Габбл у 1929 р. виявив, що швидкості галактик зростають прямо пропорційно відстані до них:

$$V = Hr \quad (10.2)$$

причому відстань тут виражено в мегапарсеках.

Коефіцієнт пропорційності H отримав назву сталої Габбла. У 2018 році Міжнародний астрономічний союз вирішив додати до назви сталої прізвище Леметра, враховуючи внесок Жоржа Леметра в розвиток уявлень про розширення Всесвіту.

У роботах Габбла 1929–1936 рр. наведено декілька значень цього параметра: від 500 до 560 км/(с×Мпк). Згодом коефіцієнт H неодноразово уточнювали. У наш час найімовірнішим значенням сталої Габбла вважають від 65 до 85 км/(с×Мпк). Іноді у формулах використовують безрозмірну сталу Габбла h^{-1} , яка показує відношення значення сталої Габбла – Леметра до 100 км/(с×Мпк). Величина сталої Габбла – Леметра має розмірність 1/секунда, тому за значенням сталої Габбла – Леметра можна оцінити вік Всесвіту.

Після того, як за спостереженнями найближчих галактик обчислили значення параметра H , можна розв'язувати зворотну задачу: знаючи червоне зміщення z галактик, обчислювати відстані до них:

$$r = (c \times \Delta\lambda)/(H \times \lambda) = cz/H. \quad (10.3)$$

Залежність між видимою зоряною величиною галактики та її червоним зміщенням

$$m = [M-5-5 \lg H] + 5 \lg cz, \quad (10.4)$$

де M – абсолютна зоряна величина галактики.

У найслабкіших об'єктів параметр z відповідає швидкості віддалення галактики, яка сягає значної частини швидкості світла. У цьому випадку (для $z \geq 0.1$) замість класичної формули Доплера використовують формулу, що впливає зі спеціальної теорії відносності:

$$z = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \sqrt{\frac{1+v/c}{1-v/c}} - 1. \quad (10.5)$$

У грудні 2017 року було відкрито найвіддаленіший квазар, що спостерігався, це ULAS J1342+0928 з червоним зміщенням $z = 7.54$ (вік Всесвіту 690 мільйонів років).

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. На які типи і за якими ознаками розділяють галактики?
2. Чим відрізняються лінзоподібні галактики від спіральних та еліптичних?
3. Де більше молодих зір – у еліптичних чи у спіральних галактиках?
4. До якого типу галактик належать Велика і Мала Магелланові Хмари? Туманність Андромеди М31?
5. Що таке метод стандартних свічок?
6. Що таке червоне зміщення?
7. Як пов'язані червоне зміщення та променева швидкість галактики?
8. Чому відстані до далеких галактик визначають за допомогою наднових I типу?
9. Який фізичний зміст сталої Габбла – Леметра? Як стала Габбла – Леметра пов'язана з віком Всесвіту?

ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

1. Спіральна галактика М33 у сузір'ї Трикутника має видиму зоряну величину $m = 6.3^m$ і кутові розміри $83' \times 53'$. В її складі виявлено цефеїди з періодом зміни блиску $P = 60$ діб і середньою видимою фотографічною зоряною величиною $m_\phi = 20.2^m$. Взввши до уваги закон Лі-

віт (залежність «період – абсолютна зоряна величина», завдання 9.1), визначте відстань до цієї галактики (в кпк), а також її лінійні розміри і світність.

2. У деяких активних галактик та квазарів спостерігаються викиди речовини – джети. Речовина джетів рухається зі швидкістю, близькою до світлової. Визначте видиму швидкість віддалення речовини джету від центру галактики (тобто проекцію просторової швидкості на небесну сферу). Проведіть розрахунки для кутів між променем зору та напрямком руху речовини 30° і 45° . Результат поясніть.

3. За кривими обертання галактик М31 та М33, що спостерігаються, оцініть їхні маси (рис. 10.3 та 10.4).

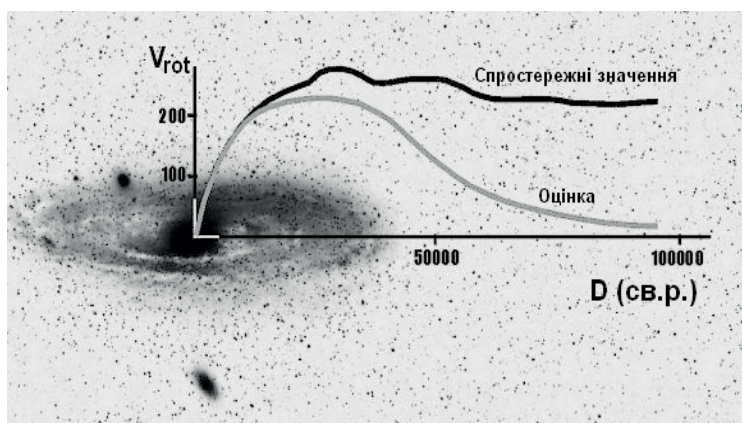


Рис. 10.3. Галактика М31 та її крива обертання

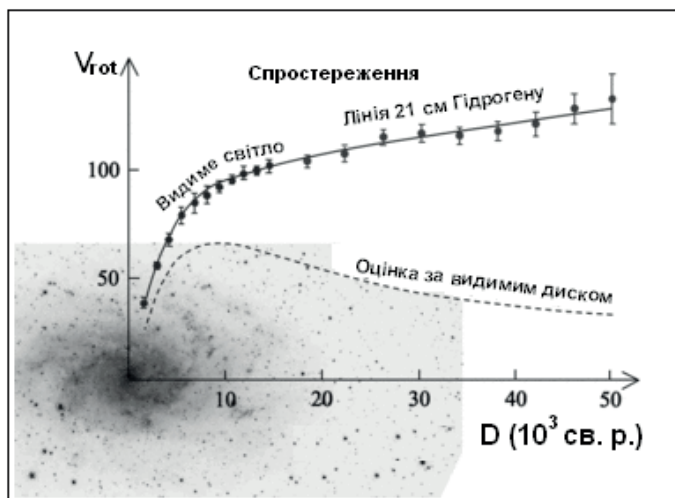
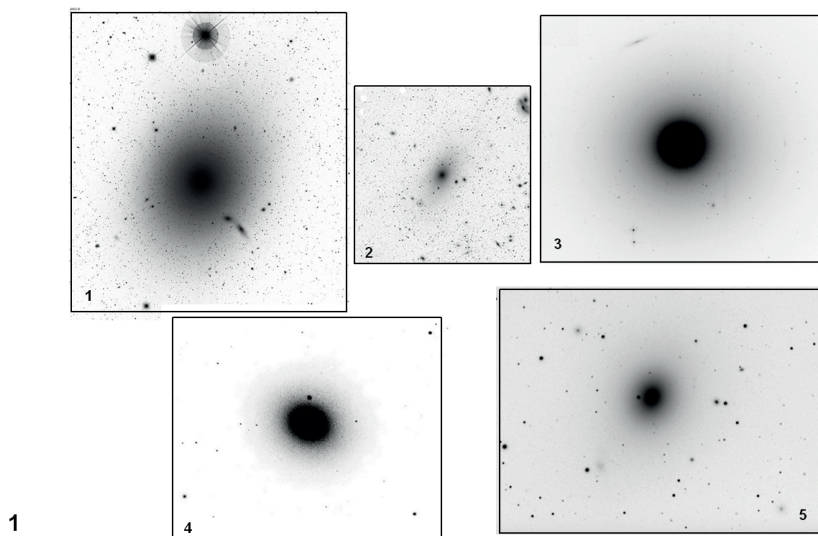


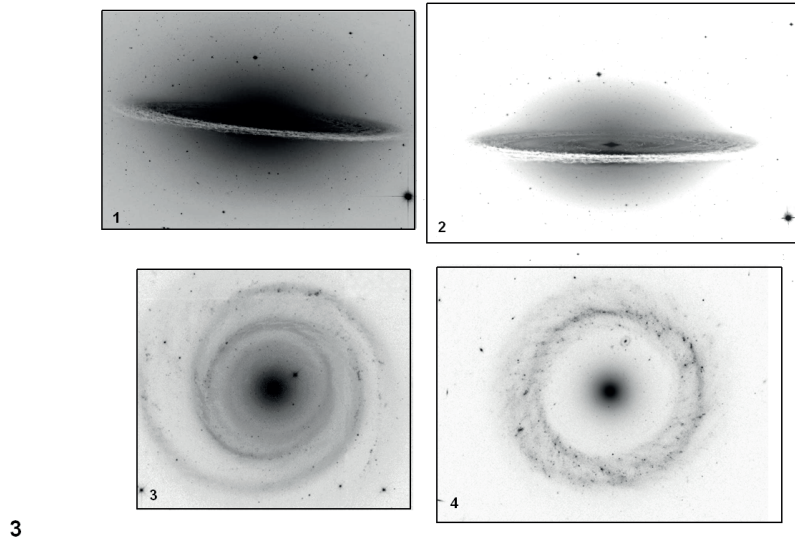
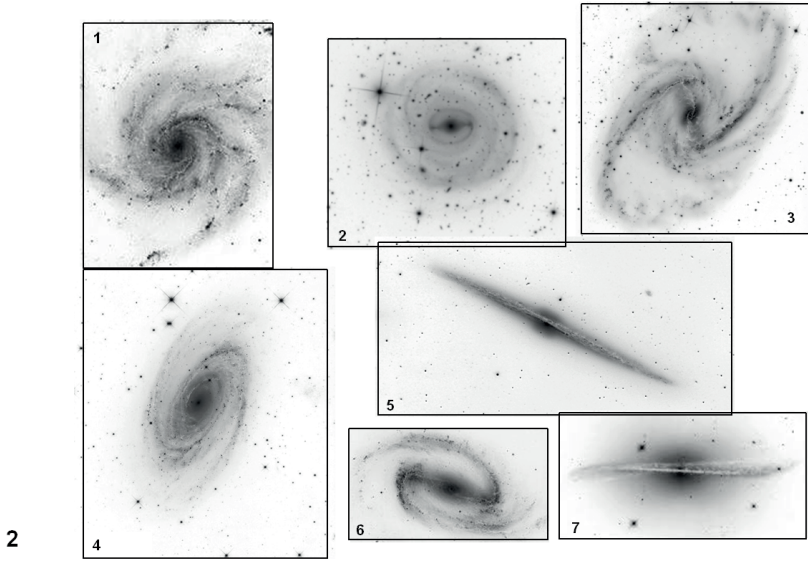
Рис. 10.4. Галактика М33 та її крива обертання

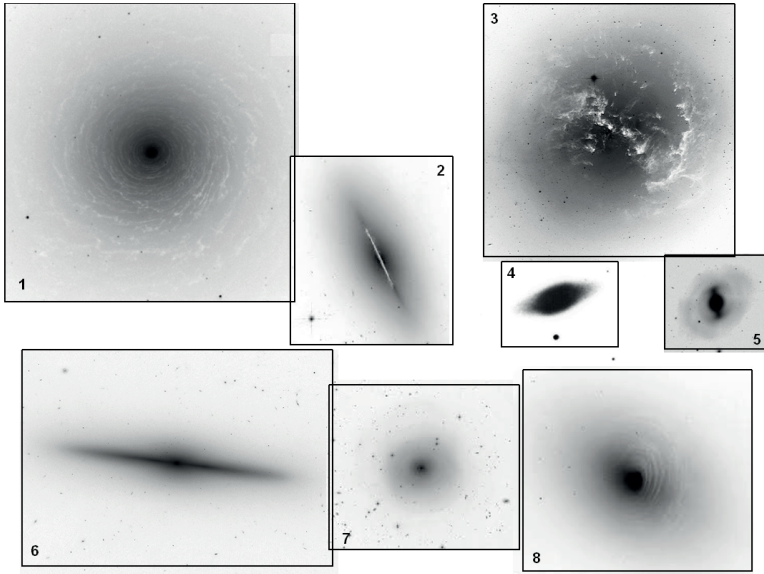
4. Оцініть променеву швидкість та відстань до квазара ULAS J1342+0928 у світлових роках. Сталу Габбла – Леметра прийняти 74 км/(с×Мпк).

5. У робочому матеріалі до завдання на 5 панелях представлено негативні зображення деяких галактик. Заповніть таблицю: вказати типи галактик за Габблом відповідно до номеру панелі/галактики. Наприклад, третя галактика на першій панелі (1/3) є еліптичною, типу E0.

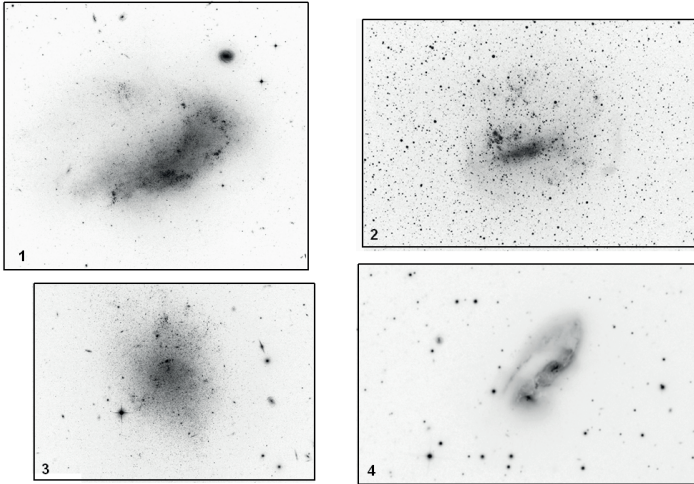
Галактика \ Панель	1	2	3	4	5	6	7	8
1			E0					
2								
3								
4								
5								







4



5

ДОДАТКИ

Додаток 1

НАЗВИ СУЗІР'ІВ

Українська назва	Латинська назва	Позначення	Латинська вимова	N/E/S	Кількість зір, з $m < 6^m$
Пів					
Андромеда	Andromeda	And	андромеда	N	100
Близнята	Gemini	Gem	геміні	E	70
Велика Ведме- диця	Ursa Major	UMa	урса майор	N	125
Великий Пес	Canis Major	CMa	каніс майор	E	80
Візничий	Auriga	Aur	ауріга	N	90
Вовк	Lupus	Lup	лупус	S	70
Водолій	Aquarius	Aqr	акваріус	E	90
Волопас	Bootes	Boo	боотес	E	90
Волосся Веронікі	Coma Berenices	Com	кома береніцес	E	50
Ворон	Corvus	Crv	корвус	E	15
Геркулес	Hercules	Her	геркулес	E	140
Годинник	Horologium	Hor	хорологіум	S	20
Голуб	Columba	Col	колумба	S	40
Гідра	Hydra	Hya	гідра	E	130
Гончі Пси	Canes Venatici	CVn	канес венатіці	N	30
Дельфін	Delphinus	Del	делфінус	E	30
Діва	Virgo	Vir	вірго	E	95
Дракон	Drako	Dra	драко	N	80
Ерідан	Eridanus	Eri	еріданус	E	100

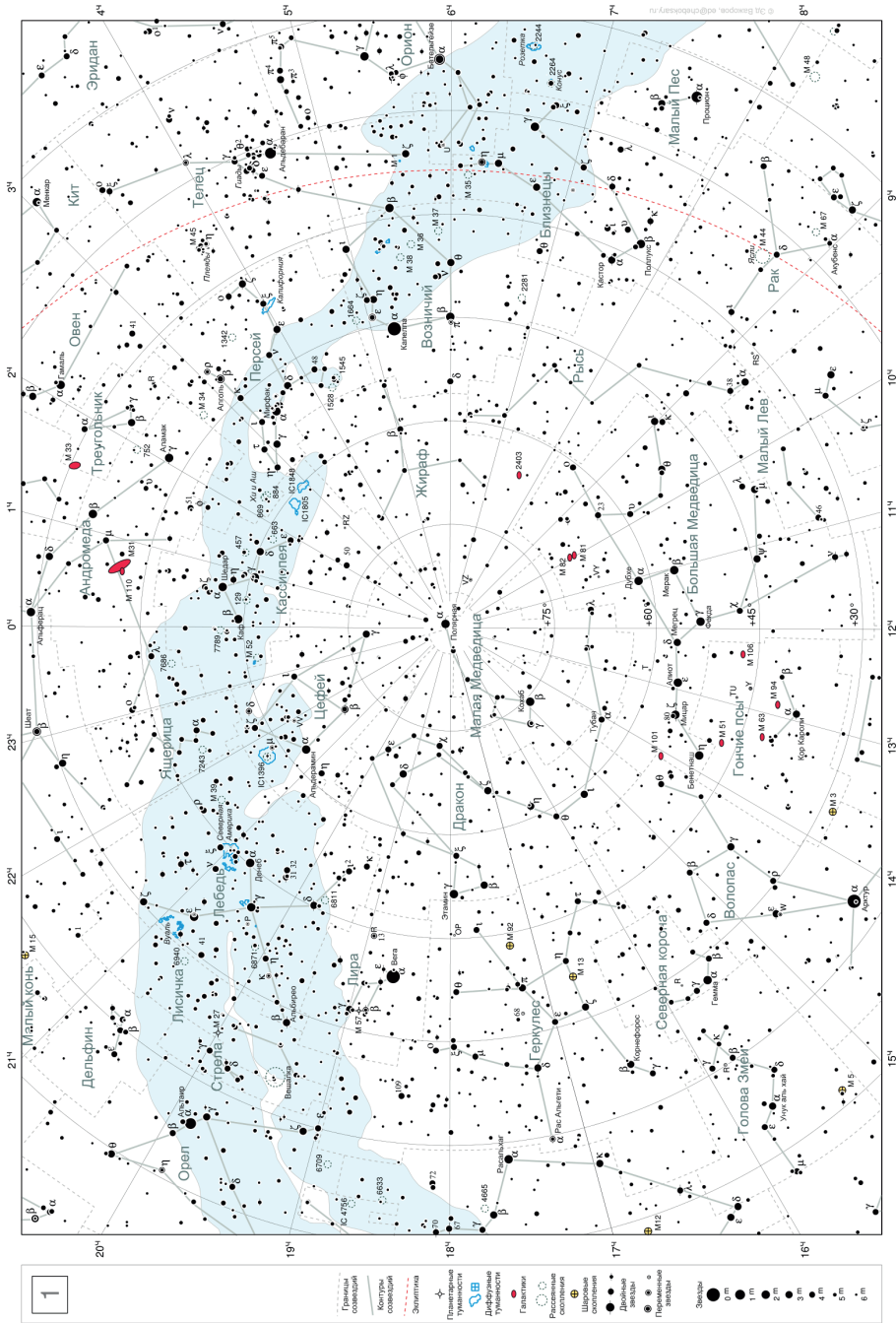
Жертовник	Ara	Ara	ара	S	30
Живописець	Pictor	Pic	пiктор	S	30
Жирафа	Camelopardalis	Cam	камелопар- далiс	N	50
Журавель	Grus	Gru	грус	S	30
Заєць	Lepus	Lep	лепус	E	40
Змiнoсeць	Ophiuchus	Oph	oфiуxуc	E	100
Змiя	Serpens	Ser	серпенс	E	60
Золота Риба	Dorado	Dor	дорадо	S	20
Индiанець	Indus	Ind	iндус	S	20
Кассioпeя	Cassiopeja	Cas	кассioпeя	N	90
Кит	Cetus	Cet	цeтyс	E	100
Кiль	Carina	Car	карiна	S	110
Козорiг	Capricornus	Cap	капрiкoрнyс	E	50
Компас	Pyxis	Pyx	пiксiс	E	25
Корма	Puppis	Pup	пyппiс	E	140
Косинець	Norma	Nor	нoрмa	S	20
Лебiдь	Cygnus	Cyg	цiгнyс	N	150
Лев	Leo	Leo	лeо	E	70
Летюча Риба	Volans	Vol	вoлaнс	S	20
Лисичка	Vulpecula	Vul	вyлпeкyлa	E	45
Лiра	Lyra	Lyr	лiрa	N	45
Мала Ведме- диця	Ursa Minor	UMi	yрca мiнoр	N	20
Малий Кiнь	Equuleus	Equ	eквyлeуc	E	10
Малий Лев	Leo Minor	Lmi	лeо мiнoр	E	20
Малий Пес	Canis Minor	Cmi	кaнiс мiнoр	E	20
Мiкроскoп	Misroscopium	Mic	мiкроскoпiуm	S	20
Мухa	Musca	Mus	мyскa	S	30

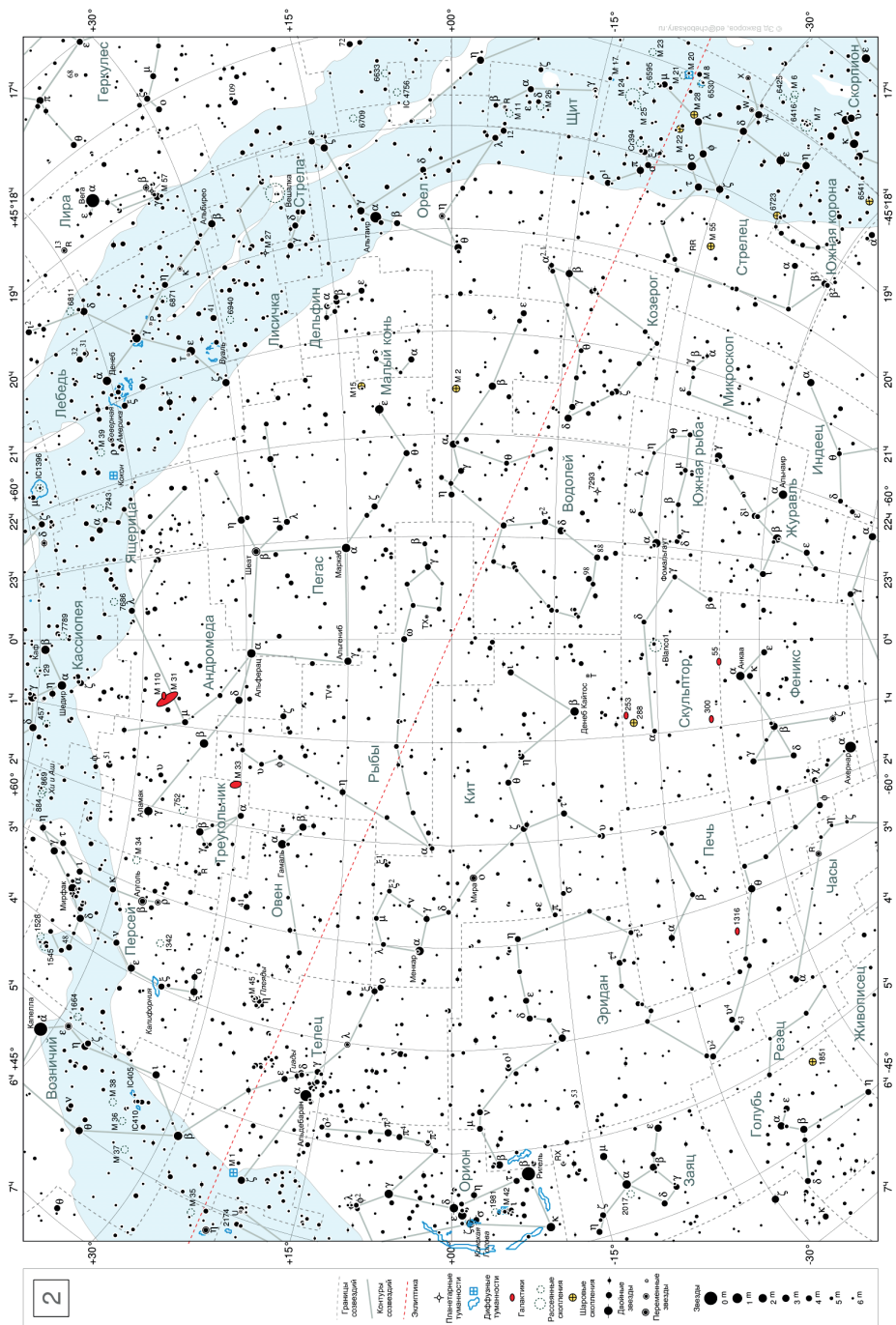
Насос	Antlia	Ant	антіліа	S	20
Овен	Aries	Ari	арієс	E	50
Одноріг	Monoceros	Mon	моноцерос	E	85
Октант	Octans	Oct	октанс	S	35
Орел	Aquila	Aql	аквіла	E	70
Оріон	Orion	Ori	оріон	E	120
Павич	Pavo	Pav	паво	S	45
Паруси	Vela	Vel	вела	S	110
Пегас	Pegasus	Peg	пегасус	E	100
Персей	Perseus	Per	персеус	N	90
Південна Корона	Corona Australis	CrA	корона аустраліс	S	25
Південна Риба	Piscis Austrinus	PsA	пісціс аустрінус	E	25
Південний Змій	Hydrus	Hui	гідрус	S	20
Південний Хрест	CruX	Cru	крукс	S	15
Південний Три- кутник	Triangulum Australe	TrA	тріангулум аустрале	S	30
Північна Корона	Corona Borealis	CrB	корона бореаліс	E	20
Піч	Fornax	For	форнакс	E	35
Райський Птах	Apus	Aps	апус	S	20
Рак	Cancer	Cnc	канцер	E	60
Риби	Pisces	Psc	пісцес	E	75
Рись	Lynx	Lyn	лінкс	N	60
Різець	Caelum	Caе	келум	S	10
Секстант	Sextans	Sex	секстанс	E	25
Скорпіон	Scorpius	Sco	скорпіус	E	100
Скульптор	Sculptor	Scl	скульптор	E	30
Столова Гора	Mensa	Men	менса	S	15

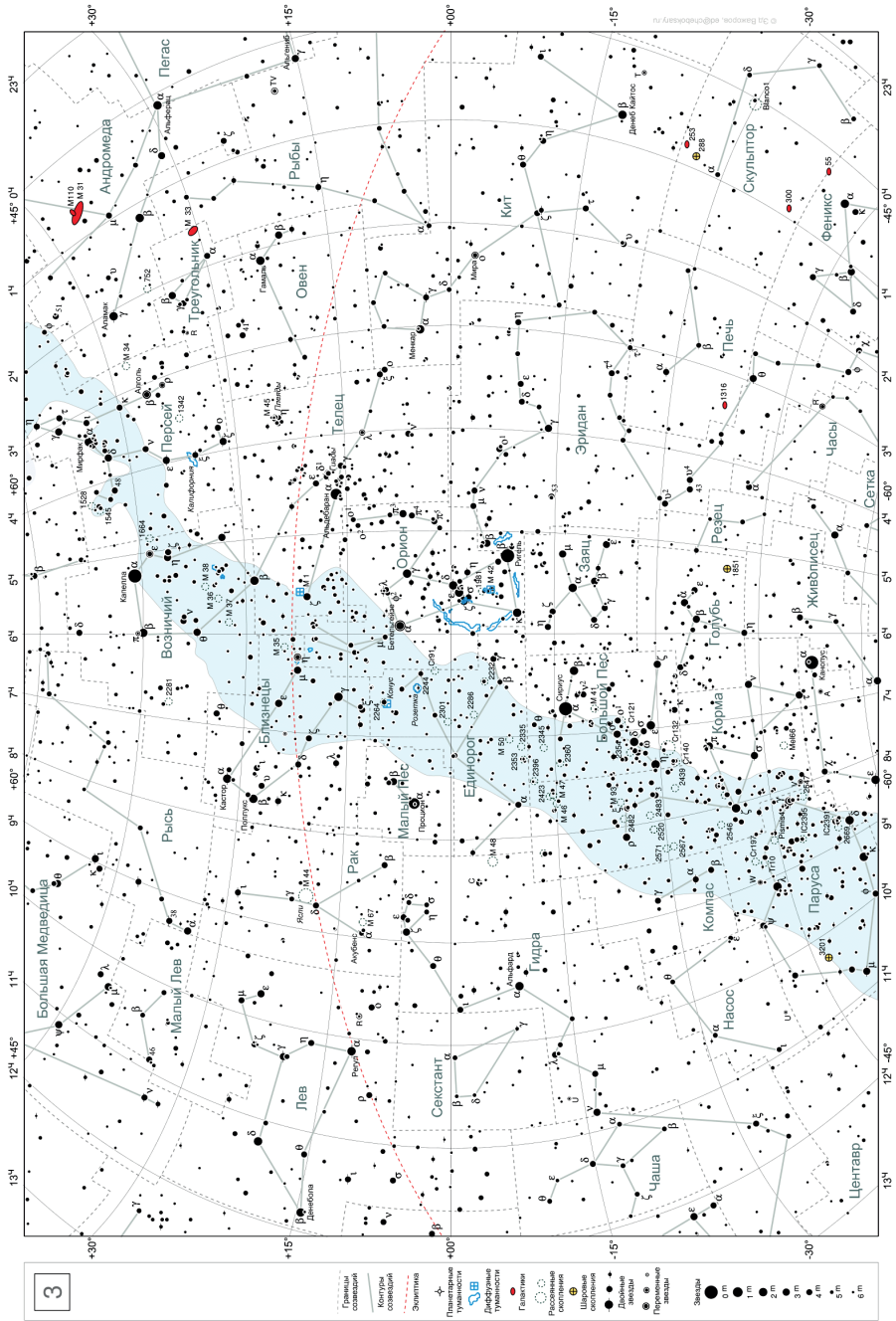
Стріла	Sagitta	Sge	сагітта	E	20
Стрілець	Sagittarius	Sgr	сагіттаріус	E	115
Телескоп	Telescopium	Tel	телескопіум	S	30
Телець	Taurus	Tau	таурус	E	125
Терези	Libra	Lib	лібра	E	50
Трикутник	Triangulum	Tri	тріангулум	E	15
Тукан	Tucana	Tuc	тукана	S	25
Фенікс	Phoenix	Phe	фенікс	S	40
Хамелеон	Chamaeleon	Cha	хамелеон	S	20
Центавр (Кентавр)	Centaurus	Cen	центаурус	S	20
Цефей (Кефей)	Cepheus	Cep	цефеус	N	60
Циркуль	Circinus	Cir	циркінус	S	20
Чаша	Crater	Crt	кратер	E	20
Щит	Scutum	Sct	скутум	E	20
Ящірка	Lacerta	Lac	лацерта	N	35

Примітка: у останній колонці літерою E позначені сузір'я, розташовані поблизу небесного екватора; сузір'я, розташовані на північ або на південь від екваторіальних, позначені відповідно літерами N або S.

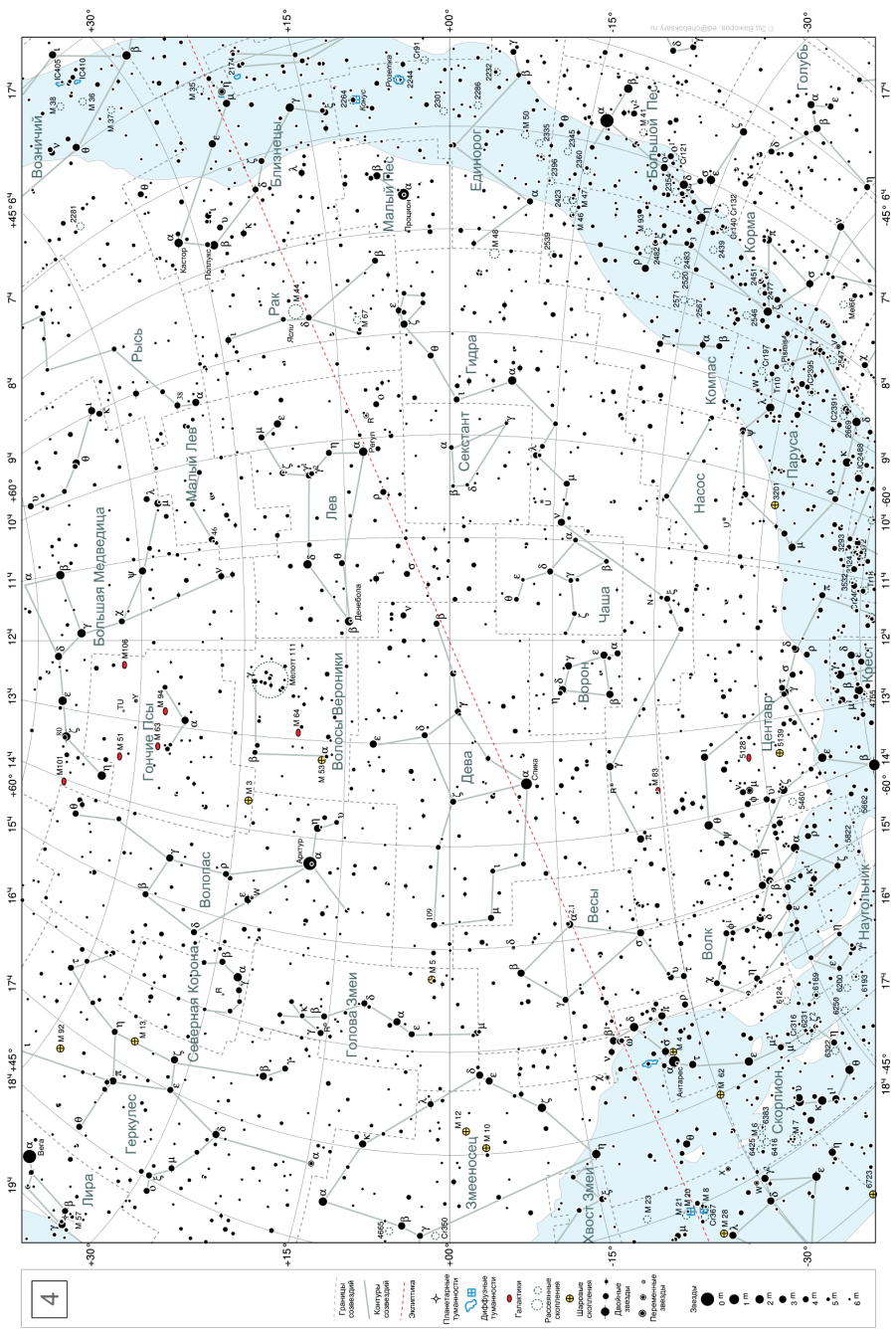
Атлас зоряного неба (www.eproject.ru)

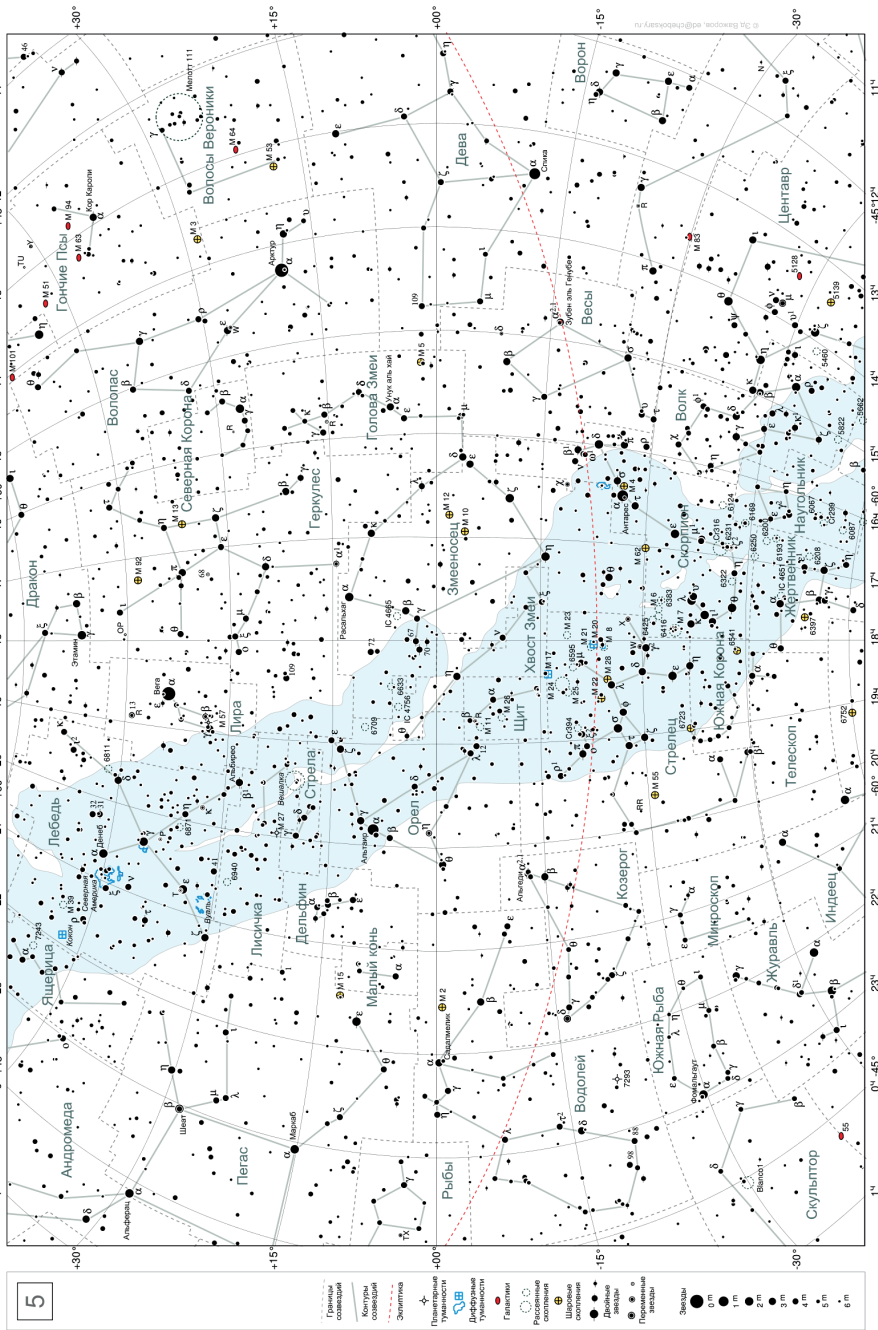






© 2010 SkyViewSoft





Паперова рухома карта зоряного неба

Основний круг

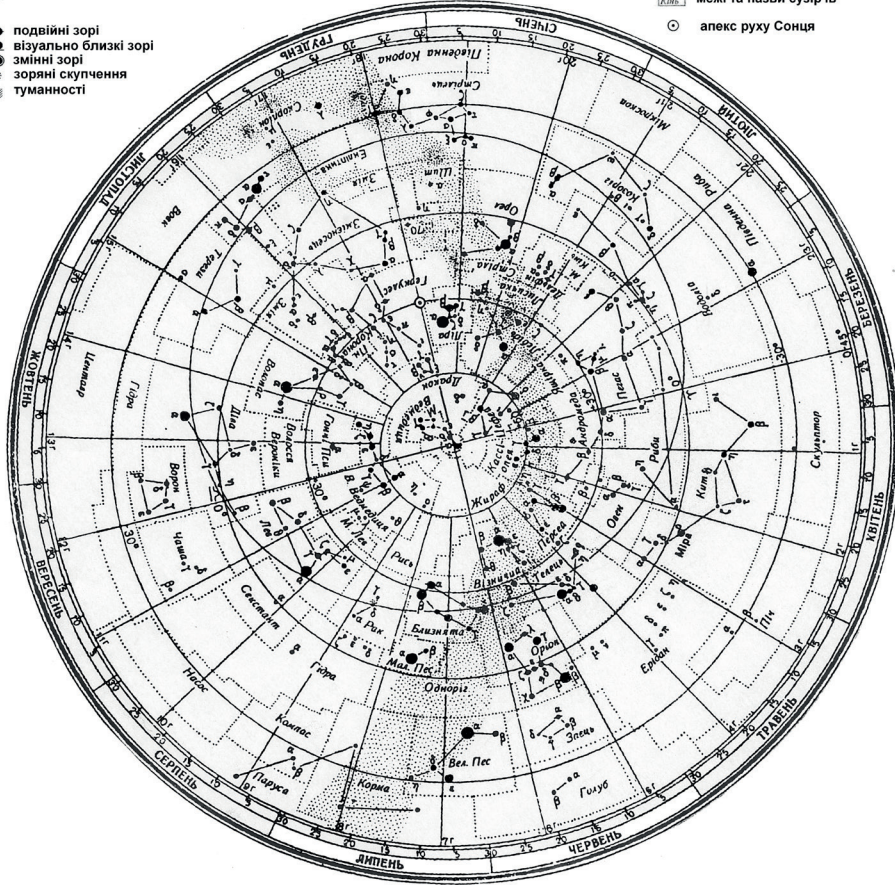
Позначення



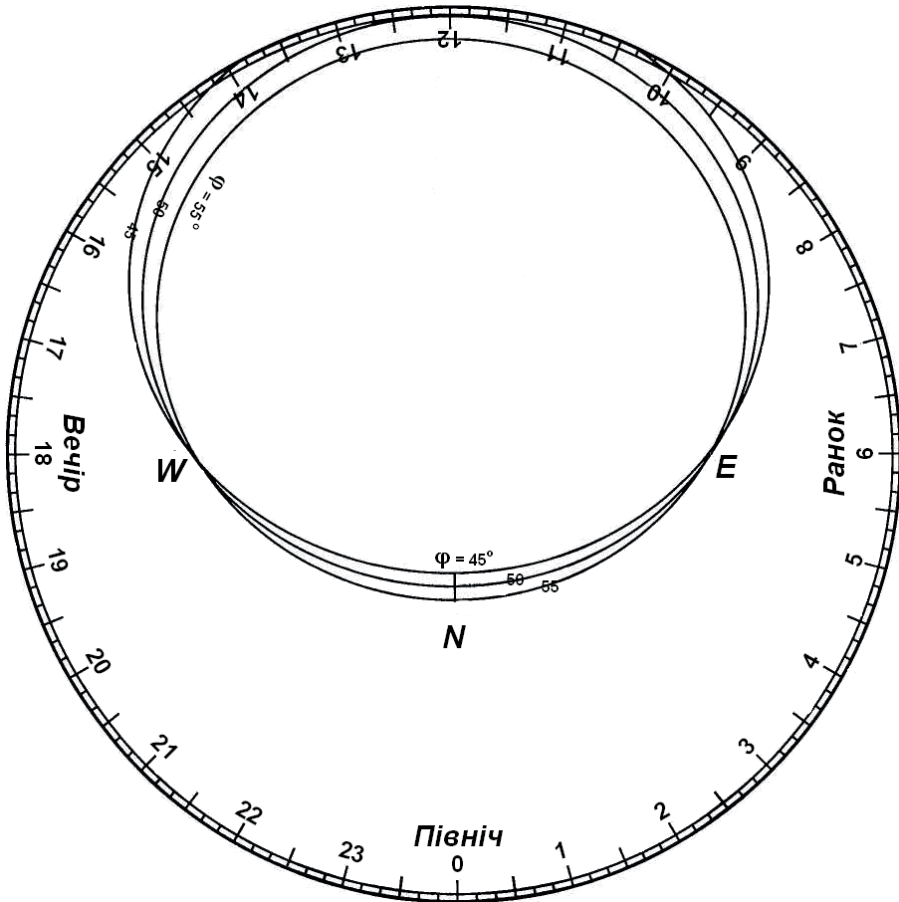
зорі

- подвійні зорі
- візуально близькі зорі
- змінні зорі
- зоряні скупчення
- туманності

- ☉ точка весняного рівнодення
- ♏ точка осіннього рівнодення
- ☌ межі та назви сузір'їв
- ☉ апекс руху Сонця

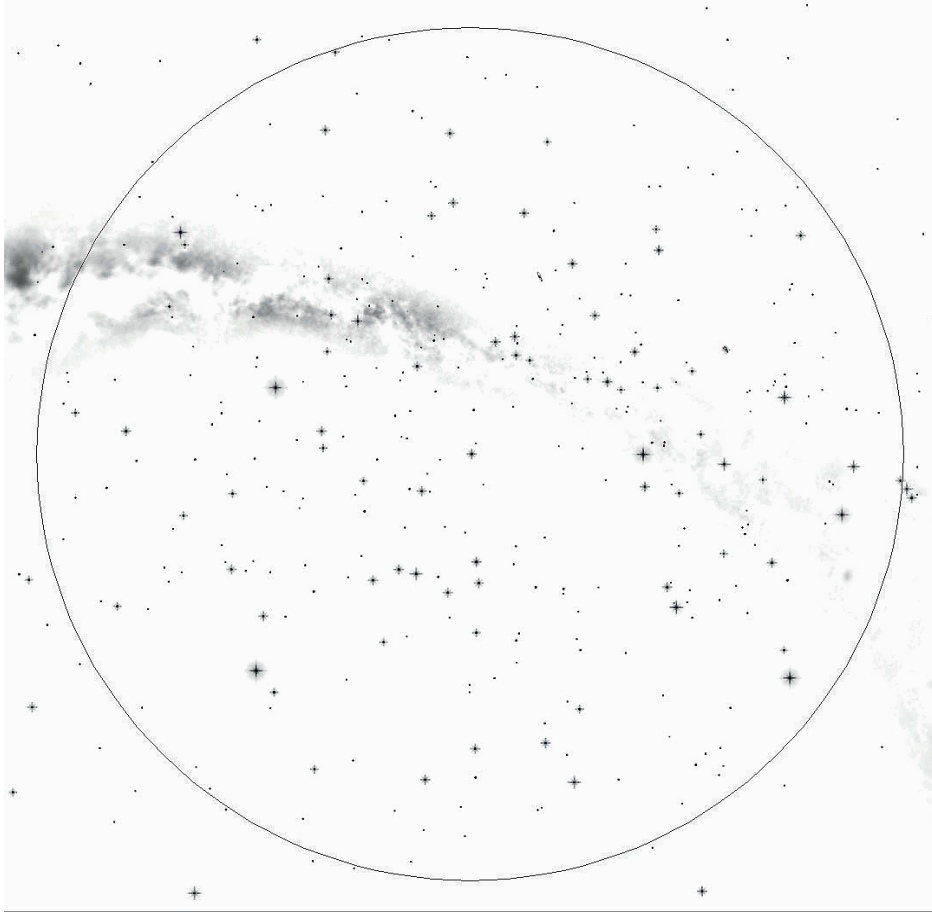


Накладний круг з контурами горизонту для різних широт України

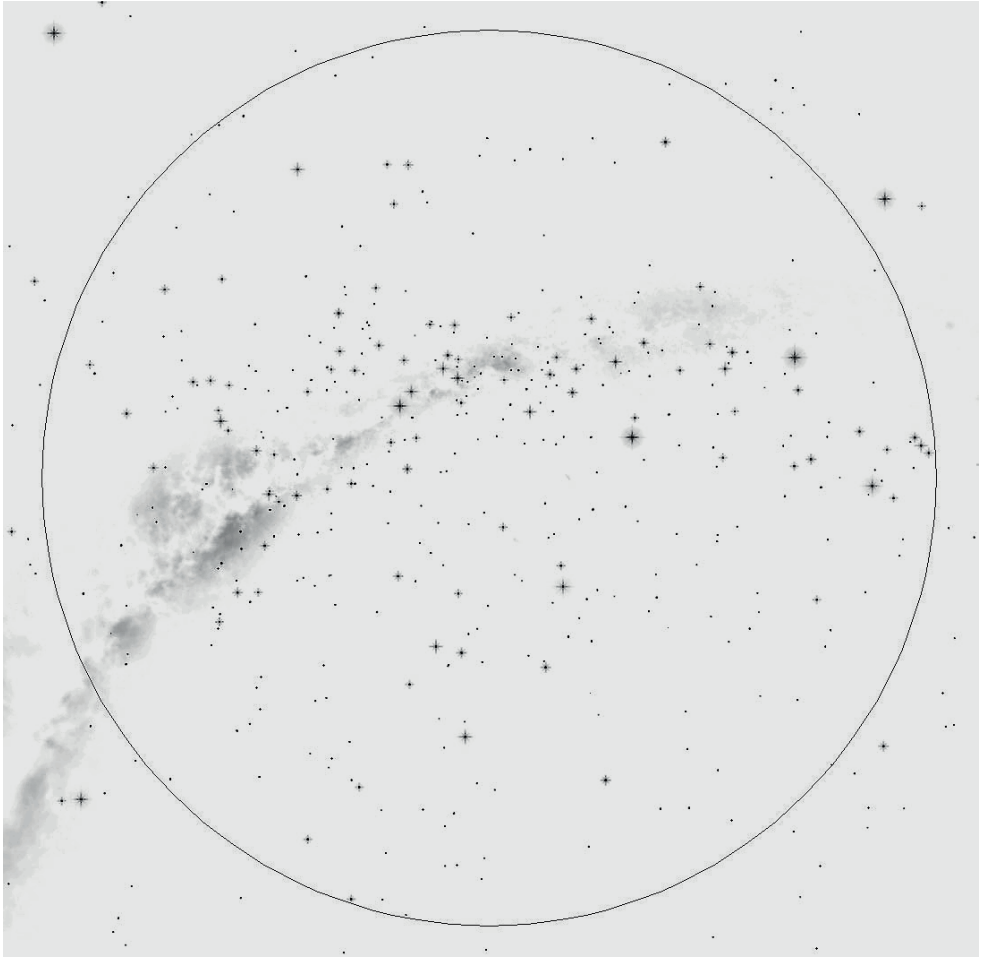


Для використання цієї карти краще надрукувати обидва круги на цупкому папері

Північна та південна півкулі небесної сфери



1. Північна півкуля

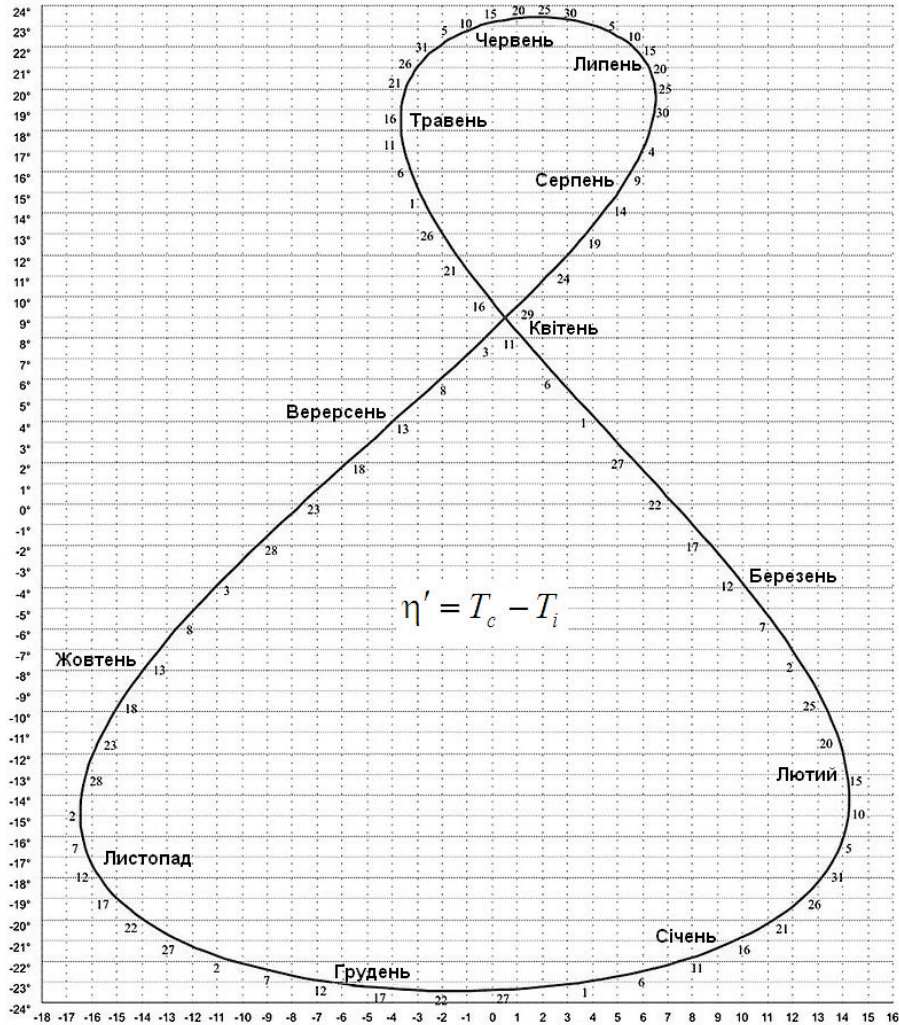


2. Південна півкуля

Додаток 5

Номограма для визначення рівняння часу

Схилення Сонця



Час у хвилинах, який треба додати до істинного сонячного часу, щоб отримати середній сонячний час

Юліанський період

Кількість днів, що минули до моменту середнього гринвіцького полудня нульового числа кожного місяця з 2000 по 2025 рр. До номера дня в таблиці треба додавати 2450000.

Рік	Січ.0	Лют.0	Бер.0	Квіт.0	Трав.0	Черв.0	Лип.0	Серп.0	Вер.0	Жов.0	Лис.0	Груд.0
2000	1544	1575	1604	1635	1665	1669	1726	1757	1788	1818	1849	1879
2001	1910	1941	1969	2000	2030	2061	2091	2122	2153	2183	2214	2244
2002	2275	2306	2334	2365	2395	2426	2456	2487	2518	2548	2579	2609
2003	2640	2671	2699	2730	2760	2791	2821	2852	2883	2913	2944	2974
2004	3005	3036	3065	3096	3126	3157	3187	3218	3249	3279	3310	3340
2005	3371	3402	3430	3461	3491	3522	3552	3583	3614	3644	3675	3705
2006	3736	3767	3795	3826	3856	3887	3917	3948	3979	4009	4040	4070
2007	4101	4132	4160	4191	4221	4252	4282	4313	4344	4374	4405	4435
2008	4466	4497	4526	4557	4587	4618	4648	4679	4710	4740	4771	4801
2009	4832	4863	4891	4922	4952	4983	5013	5044	5075	5105	5136	5166
2010	5197	5228	5256	5287	5317	5348	5378	5409	5440	5470	5501	5531
2011	5562	5593	5621	5652	5682	5713	5743	5774	5805	5835	5866	5896
2012	5927	5958	5987	6018	6048	6079	6109	6140	6171	6202	6232	6262
2013	6293	6324	6352	6383	6413	6444	6474	6505	6536	6566	6597	6627
2014	6658	6689	6717	6748	6778	6809	6839	6870	6901	6931	6962	6992
2015	7023	7054	7082	7113	7143	7174	7204	7235	7266	7296	7327	7357
2016	7388	7419	7448	7479	7509	7540	7570	7601	7632	7662	7693	7723
2017	7754	7785	7813	7844	7874	7905	7935	7966	7997	8027	8058	8088
2018	8119	8150	8178	8209	8239	8270	8300	8331	8362	8392	8423	8453
2019	8484	8515	8543	8574	8604	8635	8665	8696	8727	8757	8788	8818
2020	8849	8880	8909	8940	8970	9001	9031	9062	9093	9123	9154	9184
2021	9215	9246	9274	9305	9335	9366	9396	9427	9458	9488	9519	9549
2022	9580	9611	9639	9670	9700	9731	9761	9792	9823	9853	9884	9914
2023	9945	9976	10004	10035	10065	10096	10126	10157	10188	10218	10249	10279
2024	10310	10341	10370	10401	10431	10462	10492	10523	10554	10584	10615	10645
2025	10676	10707	10735	10766	10796	10827	10857	10888	10919	10949	10980	11010

Примітка: з 24 лютого 2023 початкові цифри юліанської дати змінюються на 2460000.

Приклад визначення дати: 11.02.2003, 8 годин за київським часом, 6:00 UT = 0.25^d

Час до 12:00 UT, тобто $JD2452671.5+10+0.25= 2452681.75$

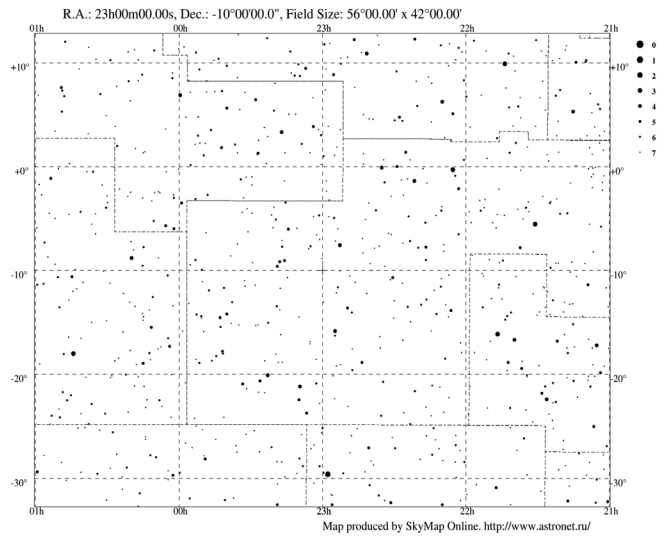
11.02.2003, 20 годин за київським часом, 18:00 UT = 0.75^d

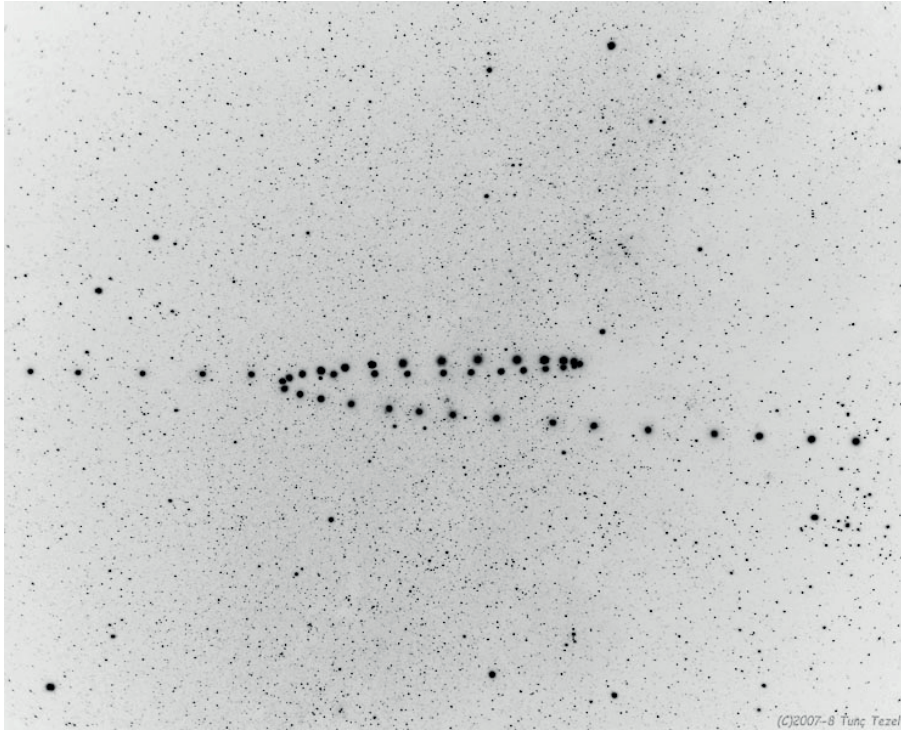
Час після 12:00 UT, тобто $JD2452671.5+10+0.75= 2452682.25$

Робочий матеріал до завдання 5.8

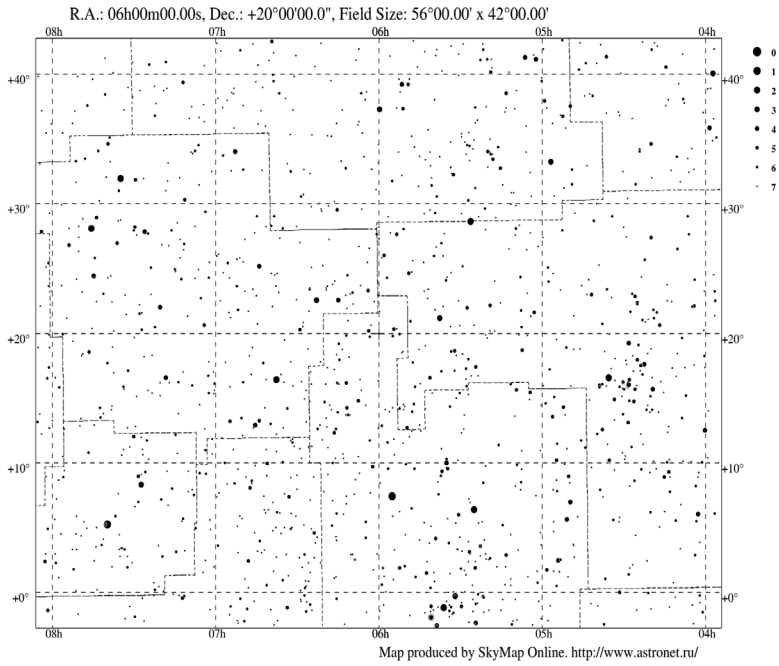


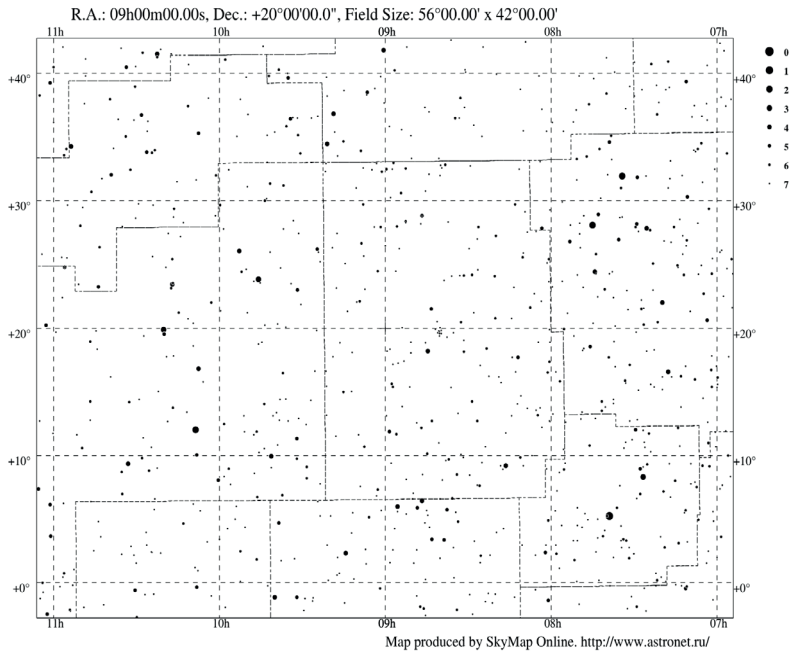
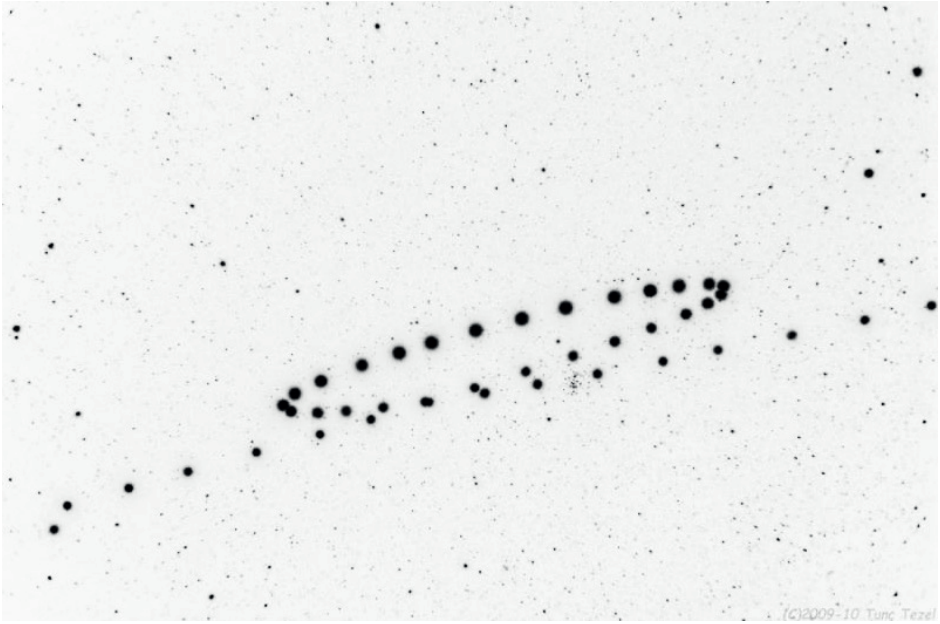
(C)2003 Tunc Tezel

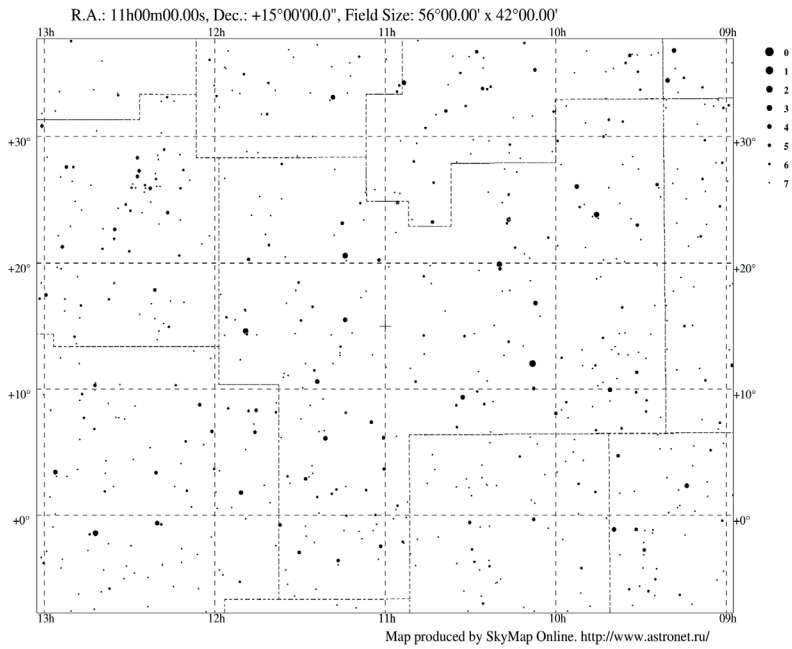
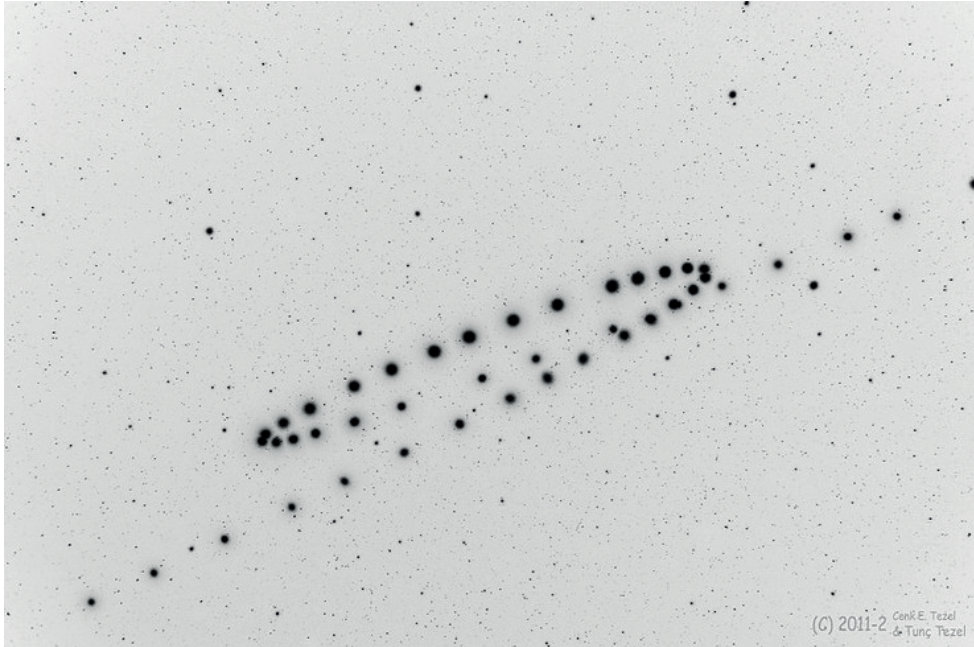


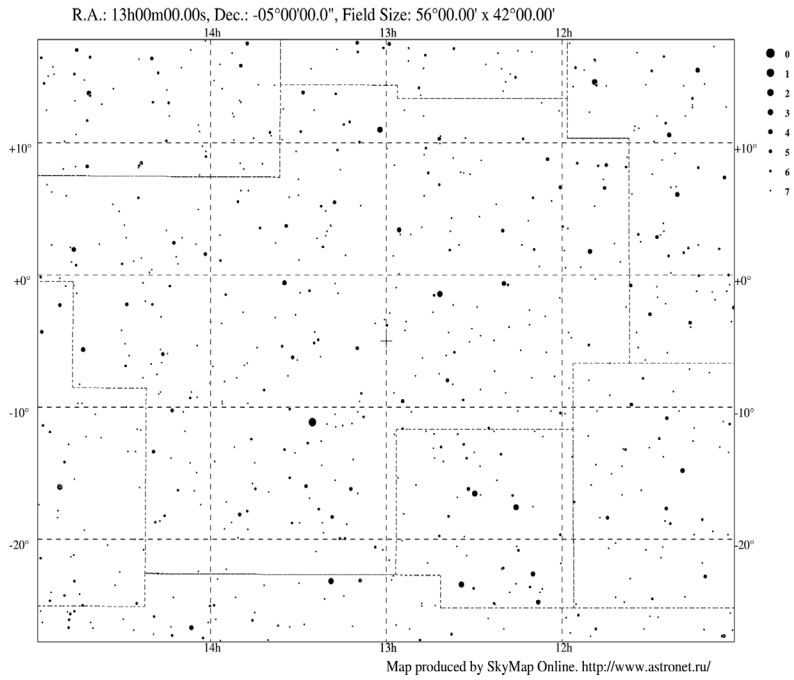


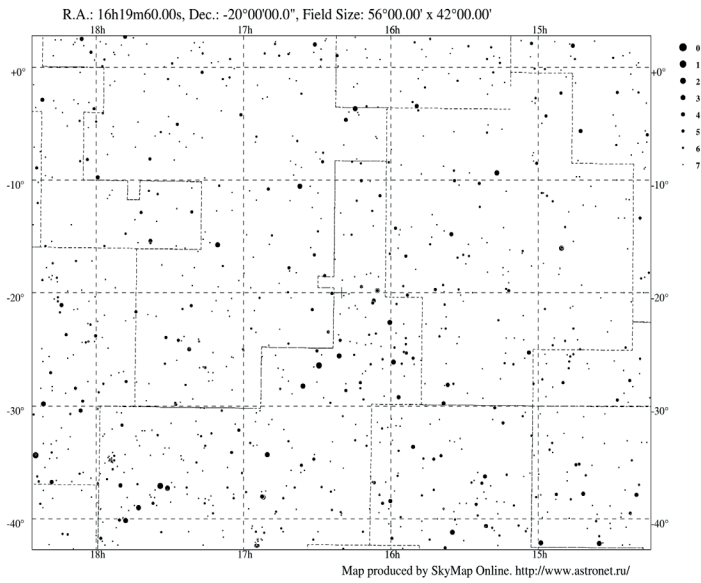
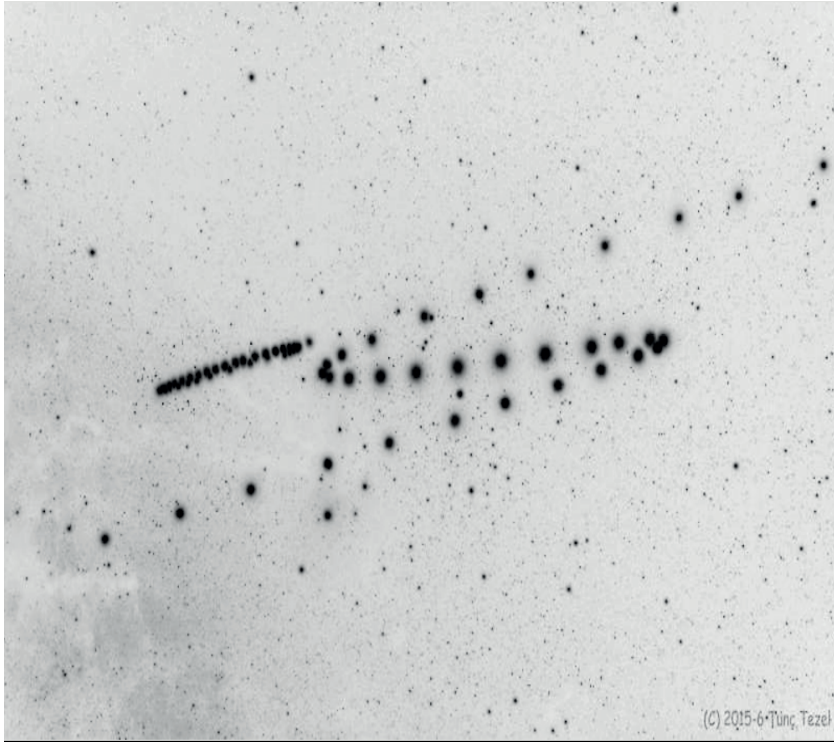
(C)2007-8 Tuğç Tezel



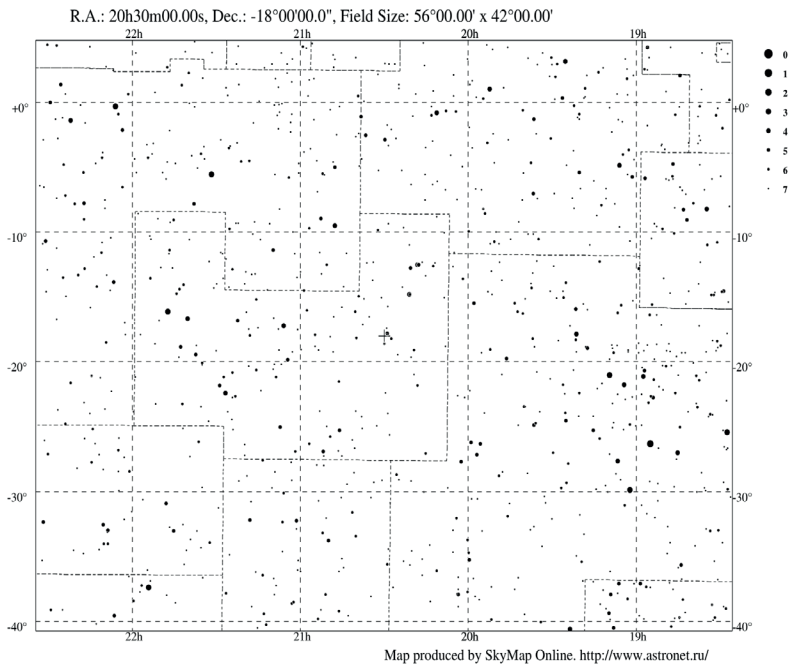


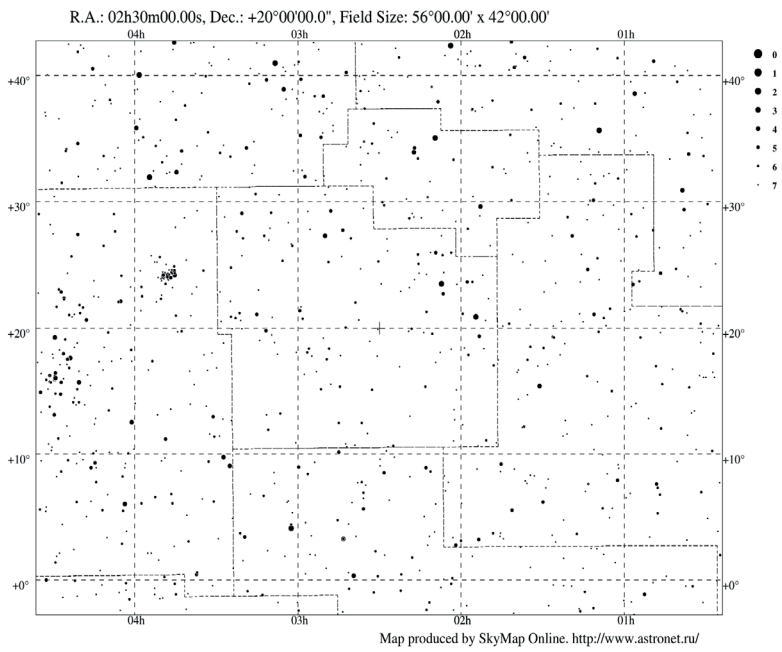


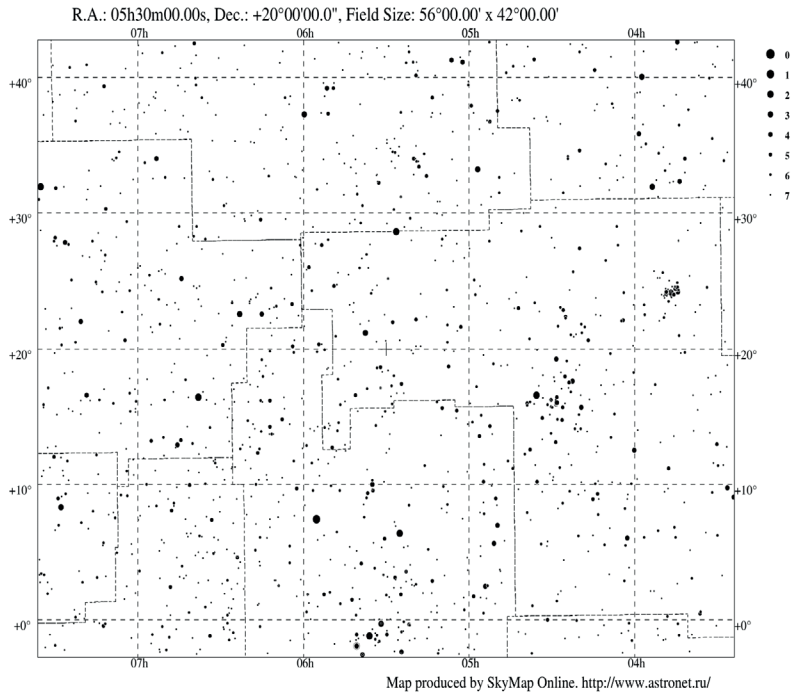
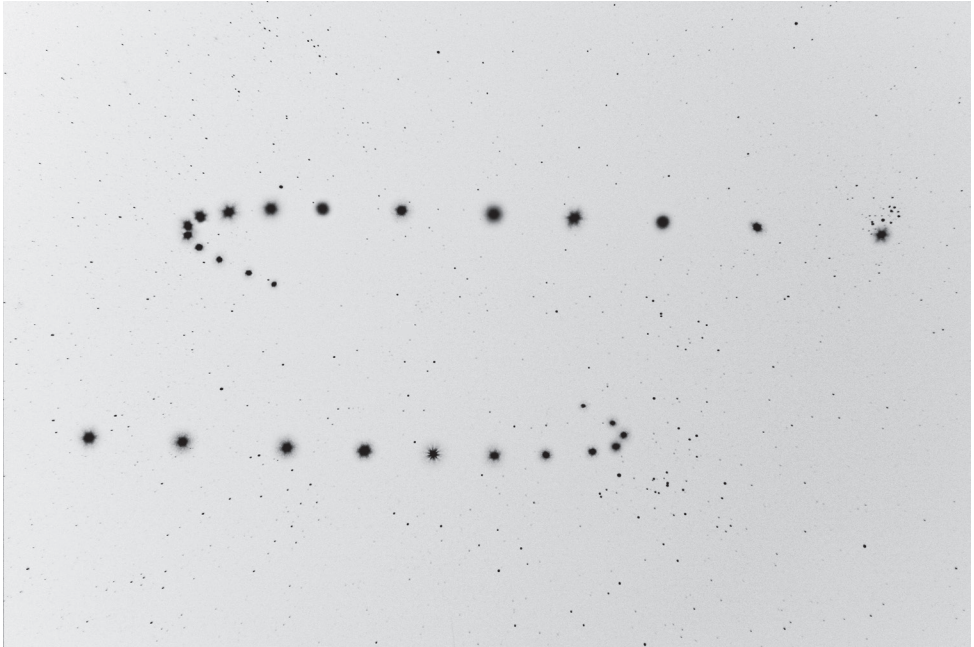




Примітка: в кадрі петлі зворотного руху Марса та Сатурна.







ЛІТЕРАТУРА

1. Андрієвський С. М. Курс загальної астрономії: підручник / С. М. Андрієвський, І. А. Климишин. Одеса: Астропринт, 2010.– 480 с. [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://lexikoukr.ho.ua/lumber/scien_astronomy/Andrievsky_Klymyshyn_Kurse_Astro.html
2. Андрієвський С. М., Загальна астрономія: підручник / С. М. Андрієвський, С. Г. Кузьменков, В. А. Захожай, І. А. Климишин.– Харків: ПромАрт, 2019.– 522 с.
2. Кононович Э. В., Общий курс астрономии: учебное пособие / Э. В. Кононович, В. И. Мороз.– Москва: Едиториал УРСС, 2004.– 544 с.
3. Климишин І. А. Астрономія: навчальний посібник / І. А. Климишин, Г. О. Гарбузов, Б. О. Мурніков, Т. І. Кабанова.– Одеса: Астропринт, 2012.– 351 с.
4. Кузьменков С. Г. Сонячна система: збірник задач: навчальний посібник / С. Г. Кузьменков, І. В. Сокол.– Київ: Вища школа, 2007.– 168 с.
5. Кузьменков С. Г. Зорі: астрофізичні задачі з розв'язаннями: навчальний посібник / С. Г. Кузьменков.– Київ: Освіта України, 2010.– 206 с.
6. Куликовский. П. Г. Справочник любителя астрономии / П. Г. Куликовский.– Москва: Едиториал УРСС, 2012.– 704 с.
7. Рей Г. Звезды: новые очертания старых созвездий / Г. Рей.– Москва: Мир, 1969 г.– 168 с.
8. Астрономічний енциклопедичний словник / за загальною ред. І. А. Климишина та А. О. Корсунь.– Львів: Львів, 2003.– 548 с.
9. Чепрасов В. Г. Завдання, запитання і задачі з астрономії: навчальний посібник / В. Г. Чепрасов.– Київ: Освіта, 1992.– 94 с.
10. Чепрасов В. Г. Практикум з курсу загальної астрономії: навчальний посібник / В. Г. Чепрасов.– Київ: Вища школа, 1976.– 256 с.
11. Одесский астрономический календарь, поточний рік.

Інформаційні ресурси

1. Література з астрономії: <http://www.chair.astro-observ.odessa.ua/literature.php>
2. «Открытая астрономия» Полный интерактивный курс астрономии для учащихся школ, лицеев, гимназий, колледжей, студентов технических вузов. ООО «Физикон», 2002
3. Віртуальний планетарій Stellarium: <https://stellarium.org/uk/>
4. Український астрономічний портал. <http://www.astrosvit.in.ua/>
5. Taki's 8.5 Magnitude Star Atlas — атлас зоряного неба, підготовлений японським аматором астрономії Тошімі Таки (Toshimi Taki), <http://www.takitoshimi.shop/>
6. Mag 7 Star Atlas – атлас зоряного неба, що містить усі зорі до 7,25 зоряної величини, підготовлений Ендрю Джонсоном (Andrew L. Johnson). http://ia902605.us.archive.org/25/items/Mag_7_Star_Atlas/Mag_7_Star_Atlas.pdf
7. Herschel 800 atlas – атлас, що містить 800 пошукових мап кращих об'єктів зоряного неба з каталогу Гершеля. Автор мап Michiel Brentjens, <https://www.astro.rug.nl/~brentjen/h800.pdf>.
8. Атлас и каталог звездного неба. Эд Важов www.eproject.ru
9. Панько О. О. Загальна астрономія. Методичні рекомендації щодо виконання завдань для самостійної роботи. Одеса. – 2018. – Частина I «Зоряне небо та небесна сфера»
<http://theorphys.onu.edu.ua/uploads/sharedfiles/Textbooks/astro/Part1.pdf>
або <http://dspace.onu.edu.ua:8080/handle/123456789/24053>
– Частина II «Кінематика та фізика тіл Сонячної системи»
<http://theorphys.onu.edu.ua/uploads/sharedfiles/Textbooks/astro/Part2.pdf>
або <http://dspace.onu.edu.ua:8080/handle/123456789/24054>
– Частина III «Основи астрофізики»
<http://theorphys.onu.edu.ua/uploads/sharedfiles/Textbooks/astro/Part3.pdf>
або <http://dspace.onu.edu.ua:8080/handle/123456789/24055>

Предметний покажчик

В

Bonner Durchmusterung 5

С

CNO – цикл 55

S

Stellarium 17

Stellarium Mobile 17

A

абераційний еліпс 50

аберація 42, 43

аберація сферична 44

аберація хроматична 43

абсолютно чорне тіло 53

азимут 9, 11

Альмагест 50

аналема 22

апертура телескопу 43

апогей 35

астеризм 4, 17

астероїд 17

астероїди головного поясу 27

астигматизм 44

астрограф 47

астрокамера 47

астрономічна одиниця 28, 50

астрономія 4

астрономія всіхвильова 42

астрофізика 53

ахромат 43

ахромати дволінзові 43, 45

Б

балдж 60

бар 60

Бетельгейзе 5
білий карлик 54
Боннський огляд неба 5

В

Великий Віз 4
Великий Ківш 4
Венера 27,28,29,31,32
вертикал перший 9
вертикал світила 9
вертикальна лінія 9
випромінювання Черенковського 42
високосний 24
висота 9,11
віртуальні планетарії 13, 15, 17
вісь годинна (полярна) 48
вісь Землі 9
вісь світу 8
вісь схилень 48
Всесвіт 4, 61

Г

Галактика 59
галактика аморфної форми 60
галактики взаємодіючі 60
галактики дискові 59
галактики еліптичні 59
галактики з полярними кільцями 60
галактики клоччастої структури 60
галактики лінзоподібні 59
галактики неправильні 59
галактики пекулярні 60
галактики пекулярні асиметричні 60
галактики пекулярні гамма-форми 60
галактики пекулярні дископодібні 60
галактики пекулярні кільцеві 60
галактики спіральні 59
географічна широта 11, 16
годинний кут 10, 11, 22

годинниковий механізм 48
головна площина диска Галактики 53
головна послідовність (нормальні карлики) 54
головна послідовність нульового віку (початкова) 55
горизонт 4
горизонт математичний 9
горизонту площина 9
гравітаційне стискання 55
гравітаційні хвилі 42

Д

двогранний кут 9
Денебола 5
джет 63
диск Ері 43, 46
дисторсія 44
дисторсія бочкова від'ємна 44
дисторсія подушкоподібна додатна 44
дифракція 42,43
діагональне плоске дзеркало 48
Діаграма Герцшпрунга – Рассела 53, 55, 57
діаграма показник кольору – абсолютна зоряна величина 55
діаграма спектр – світність 55
діаграма температура – абсолютна зоряна величина 55
діаметр кутовий 50,61
діаметр лінійний 50
діаметр окуляра 45
діаметр окулярного вікна 45
Діона 34
доба 21, 22
доба середня зоряна 23
доба сонячна 24
доба сонячна справжня 22
добова паралель 10, 16
добове обертання неба 48
добове обертання небесної сфери 8, 22
добове обертання сузір'їв 9

Е

еволюційний стан 53
еволюційний трек 56
екватор небесний 8, 9, 48
екліптика 9, 23
ексцентриситет орбіти 23, 35
елонгація 27
енергія гравітаційна 53
енергія термоядерного синтезу 53
епоха атласу 15
епоха рівнодення 15
ера, до нашої 24
ера, наша 4, 24, 25
Ерида 27

З

задача двох тіл 30
закони Кеплера 28
залежність період – абсолютна зоряна величина (закон Лівітт) 57,
63
затемнення місячні 17
затемнення сонячні 17
захід 8, 11
збільшення телескопа 45
Земля 27, 28, 29, 32
зеніт 9
зенітна відстань 10
зір відстані до 8
зір мерехтіння 17
зір металічність 53
зір спектральна класифікація 53
зір фотосфера 53
зорі – гіганти 54
зорі – надгіганти 54
зорі блиск 5, 13, 46, 57
зорі маса 53
зорі показник кольору 58
зорі потемніння диска до краю 56
зорі радіус 53

зорі світність 50
зорі світність 53
зорі хімічний склад 53
зоря 4, 5
зоря – нормальний карлик 54
зоря – білий карлик 54
зоря подвійна 57
зоряна величина 13, 46, 50
зоряна величина абсолютна галактики 62
зоряна величина абсолютна зорі 50
зоряна величина видима 50
зоряна доба 11, 22, 48
зоряна доба істинна 23
зоряна карта 13, 14
зоряна конфігурація 13
зоряне населення I типу 60
зоряне населення II типу 60
зоряне скупчення 4
зоряний атлас 13
зоряний глобус 13
зоряний каталог 13

I

індикт 25
інтенсивність світла 50
Іо 35

К

календар 21,23
календар григоріанський 24
календар місячний 24
календар місячно-сонячний 24
календар новоюліанський 24
календар сонячний 24
календар юліанським 24
календи 24
камертон Габбла 61
карта зоряного неба рухома 16
карти 13

карти позагалактичних об'єктів 13
картографічна проекція 13
каталог 15
каталог Гіппарха 17
каталог Тіхо 17
квадратура 28
квazar 62
класифікації галактик 59
класифікаційна схема Габбла – Сендиджа 59
класифікаційна схема Габбла 59

коло схилення 10, 16
кома 44
комета 17,27
конфігурації сузір'їв 13
конфігурація 27,28
координат небесних системи 8,9, 22
координати астрономічні галактична система 9
координати астрономічні горизонтальна система 9, 11, 48
координати астрономічні друга екваторіальна система 10, 22
координати астрономічні екваторіальні 10
координати астрономічні екліптична система 9
координати астрономічні перша екваторіальна система 10, 22, 48
координати астрономічні супергалактична система 9
корекційна платівка Шмідта 45
космічні промені 42
кратер 33, 34
кратер Альфонс 38
кратер Арзахель 38
кратер Одісей 35
кратер Птолемей 38
кратер Пурбах 38
кратер Табіт 38
кратер Табіт А 38
кратер Тихо 35
кремальєра 46
крива блиску змінної зорі 56, 58
крива обертання галактики 63
кривизна поля 44

крон 44
кульмінація верхня 11
кульмінація нижня 11
кульмінація світила 8, 11, 22

Л

лінії телуричні 53
лінія горизонту 17
лінія поглинання 53
лінія спектральна 53
Літній Трикутник 4
літочислення 24

М

Магелланові Хмари (Велика і Мала) 60, 62
Макемаке 27
малі тіла Сонячної системи 50
Марс 27, 28, 30, 31, 32
масштаб 33, 45, 47
масштаб знімка 31, 33
масштаб карти 15
мегапарсек 61
меніск 48
меридіан 23
меридіан Гринвіцький 23
меридіан небесний 9, 11, 17
Меркурій 27, 28, 32
метеорний потік 17
метод найяскравіших зон Н II 61
метод стандартних свічок 61
метод цефеїд 61
Мімас 34, 35
Місяця фази 23
місяць 21, 23
Місяць 34, 35, 39
місяць синодичний 23, 24, 28, 29
модуль відстані 51
модуль відстані візуальний 51
модуль відстані істинний 51

Море Хмар 38
морфологічний тип галактики 59, 61

Н

надир 9
накладний круг 17
населення еліптичних галактик 60
небесна механіка 30
небесна сфера 4, 8, 9, 63
небесної сфери модель 8
нейтрино 42
Нептун 27, 28, 32
номограма 22
нутація 22, 23

О

об'єктив 45
об'єктив довгофокусний 42, 45
об'єктив лінзовий 43
оберт Землі відносно зір 11
обертання Землі навколо Сонця 21
обертання Місяця навколо Землі 21
обертанням Землі навколо своєї осі 9, 21
обсерваторія 5
обсерваторія Вихорлацка Народна 49
окуляр 45
окуляр короткофокусний 42, 45
окулярне вікно 45
оптична вісь 44
оптична система 42, 43
оптична схема 45
оптичне вікно 42
оптичні системи збираючі 45
освітленість 50

П

паралакс 50
паралакс річний 50
паралактичний еліпс 50

парсек 50
пасхалія 25
перигей 35
період планети орбітальній 28
період сидеричний 28, 29
період синодичний 28
південь 11
півкуля південна 5
північ 11
планети 27
планети внутрішні 27
планети зовнішні 27
планети карликові 27
планети-гіганти 34
планісфера 16
Плеяди 4
Плутон 27
поверхнева яскравість 60
показник заломлення 43, 44
полюс світу південний 8
полюс світу північний 8
полюси світу 9
Полярна зоря 8
початкова головна послідовність 56
пояс Койпера 27
прецесія 9, 15, 22, 23
притягання Місяцем 15
притягання Сонцем 15
проекція 13
проекція полярна 16
проникна сила 45, 46
протистояння 28
протистояння велике 50
протон-протонний цикл 55
протуберанець 34, 40
Пряма Стіна 35, 38
пряме піднесення 10, 16
психофізичний закон Вебера – Фехнера 50

Р

радіо-вікна 42
радіодіапазон 63
радіус-вектор світила 9
Рас-альхаг 5
Релея критерій 43
Рея 34,36
рівняння синодичного руху 28
рівняння часу 21, 22
рік 21, 23
рік зоряний 23
рік сидеричний 23
рік сонячний 24
рік тропічний 23, 24
роздільна здатність 45, 46, 48
розмір поля зору 45
рух планет видимий 27
рух планет петлеподібний 28, 31

С

Сатурн 27, 28, 32
секунда 22, 23
секунда атомна 23
секунда ефемеридна 23
секунда сонячна 23
система Мерсенна афокальна 47, 48
системи катадіоптричні 42
Скупчення 16
смуга поглинання 53
Сонце 29, 30, 31, 40. 42
Сонце істинне 21
Сонце середнє 21, 22
Сонце середнє екваторіальне 21
Сонце справжнє 21
Сонця річний рух 9
Сонячна система 17, 27
спектр 46
спектральна класифікації зір двомірна 53
спектральна класифікація Гарвардська 53

спектральний клас 53
спіральні рукава 60
сполучення 27, 28
сполучення верхнє 27
сполучення нижнє 27
стала Стефана – Больцмана 53
стала Габбла 61
стала Габбла безрозмірна 62
стала Габбла – Леметра 62
сузір'я 4, 5, 17
схема головного фокуса 47
схема Грегорі 47, 48
схема Кассегрена 47, 48
схема Максудов-Кассегрен 48
схема Ньютона 47, 48
схема рефрактора 45
схема Шмідт-Кассегрен 48
схилення 10, 11, 16
схід 8,11

Т

телескоп 42
телескоп АЗТ-8 49
телескоп Вихорлацкий Народний 49
телескоп дзеркальний 44
телескоп лінзовий 44
телескопи гамма- 42
телескопи інфрачервоні 42
телескопи оптичні 42
телескопи радіотелескопи 42
телескопи рентгенівські 42
телескопи системи Максудова 42
телескопи системи Шмідта 42
телескопи ультрафіолетові 42,
телескопи-рефлектори 42
телескопи-рефрактори 42
телескопів дзеркальних оптичні схеми 47
телескопів катадіоптричних оптичні схеми 47
температура ефективна 53

теорема Фогта – Рассела 56
термоядерний синтез 55
тиждень 21, 23
тілесний кут 21
точка весняного рівнодення 9, 16, 22
точка весняного рівнодення істинна 23
точка весняного рівнодення середня 23
точка зимового сонцестояння 9
точка літнього сонцестояння 9
точка осіннього рівнодення 9
точка півдня 9, 10
точка півночі 9
точка спостереження 8
трикутник сферичний 33
туманність 16
Туманність Андромеди M31 62

У

Уран 27, 28, 32
Уранографія 5
Уранометрія 4, 5

Ф

фізичні змінні зорі 56
флінт 44
фокальна відстань 45
фокальна відстань еквівалентна 48
фокальна площина 43, 44, 46
фокус 43, 44
Фокус головний (первинний) 47
фокусна відстань телескопа 47
фокусна відстань телескопа еквівалентна 48
формула Допплера 61, 62
фотометр 45

Х

Хаумеа 27
хвильовий фронт 43
хронометр 10

Ц

центр поля зору 45

центр сфери 8

Церера 27

Ч

час 4, 16, 21

час всесвітній 23

час зоряний 11,22,23

час істинний сонячний 21

час літній 17

час місцевий 17

час регіональний 23

час середній сонячний 11, 21, 23

час сонячний 21

час тегеранський 23

часовий кут 48

часовий пояс адміністративний 23

часовий пояс географічний 23

часовий пояс нульовий 23

червоне зміщення 61, 62

число Погсона 50

Чумацький Шлях 17

Ш

швидкість лінійна 30

швидкість планети кутова 29

швидкість просторова 63

швидкість світла 61, 62

швидкість секторіальна 30

штатив альт-азимутальний 48

штатив паралактичний 48

Ю

юліанська дата 21

юліанський період 25

юліанський рахунок днів 25

Юпітер 27, 28, 32

Я

Япет 34, 36

Показчик імен

А

Арат 14
Аргеландер Фрідріх 50
Ас-Суфі 14

Б

Бéда Преподобний 42
Браге Тихо 17, 30

В

Важоров Ед 15

Г

Габбл (Габбл, Хаббл) Едвін Павелл 61
Гадждозіка Джокейнс 17
Галілей Галілео 42
Гараллі Луїджі Ліліо 24
Гевелій Ельжбета 5
Гевелій Ян 5, 14, 15
Гезіод 4
Гершель Вільям 15, 25
Гіппарх 4, 50
Григорій XIII Папа Римський 24

Д

Діонісій Малий 41
Джонсон Ендрю 15
Дюрер Альбрехт 14

Е

Евдокс 4

Й

Йоганес Кеплер 29
Йоганн Байер 4,5

К

Каліненков, Никифор Дмитрович 82
Керні, Кевін (Kevin Karney) 38

Л

Лакайль 5
Леметр Жорж 61
Лівітт, Генрієта Свон, 93,94
Ліпперсгейм Ганс 42

М

Манілій Марк 14
Меєріс Джохан 17
Медлер Й. Г. 25
Метьюс Джейкоб 42
Метьюсон Том (Thomas G. Matheson) 38
Міжнародний астрономічний союз (МАС) 4, 61
Міланкович Мілутін 24

Н

Ньютон Ісаак 30, 47

П

Погсон Норман 50
Птолемей Клавдій 14, 50

С

Сендидж, Аллан Рекс, 99
Скалігер Жозеф Жюст 25
Созіген 24
Сперман Роберт 17
Стабій Йоганн 14

Х

Хейнфогель Конрад 14

Ц

Цесевич, Володимир Платонович, 94

Ч

Читайло Артем 39

Ш

Шеро Фабіан 17

Ю

Юлій Цезарь 24

Я

Янсен Захарій 42

Таки Тошімі (Toshimi Taki) 29

Ф

Фалес 4

Флемстіда Д 5

Навчальне видання

ПАНЬКО Олена Олексіївна
СЕРГІЄНКО Ольга Георгіївна

ЗАГАЛЬНА АСТРОНОМІЯ

Навчальний посібник

В авторській редакції
Обкладинка І. В. Боброва

Підп. до друку 22.12.2020. Формат 70x100/16
Умов.-друк. арк. 8,0. Тираж 50 пр.
Зам. № 2180.

Видавець і виготовлювач

Одеський національний університет імені І. І. Мечникова
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4215 від 22.11.2011 р.

Україна, 65082, м. Одеса, вул. Єлісаветинська, 12
Тел.: (048)723 28 39. Е-mail: druk@onu.edu.ua