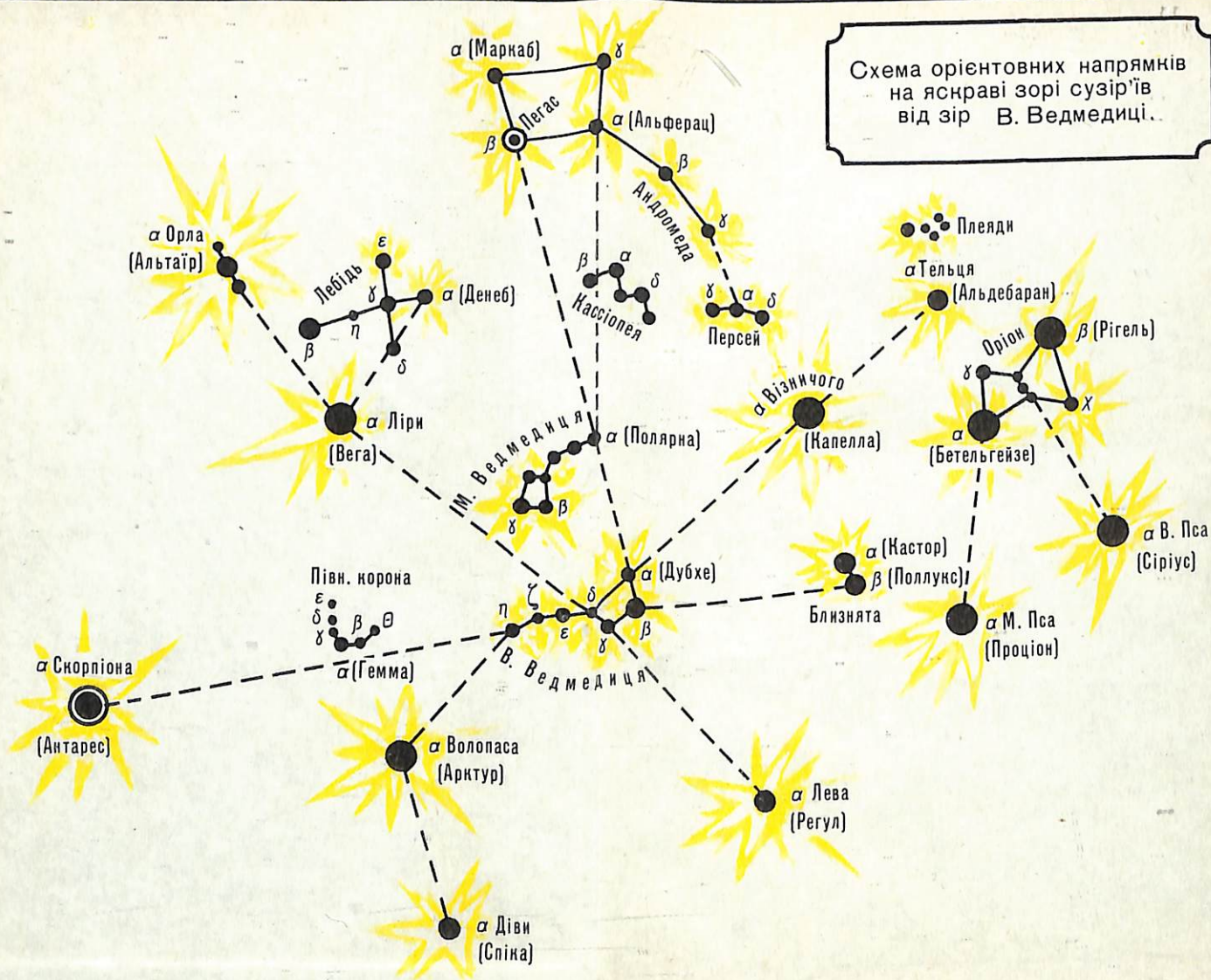


Схема орієнтовних напрямків
на яскраві зорі сузір'їв
від зір В. Ведмедиці.



В.Г. ЧЕПРАСОВ
ЗАВДАННЯ,
ЗАПИТАННЯ
І ЗАДАЧІ
З АСТРОНОМІЇ

Посібник для вчителів

КИЇВ
«РАДЯНСЬКА ШКОЛА»
1984

74.265.5

Ч-44

Рекомендовано Управлінням шкіл Міністерства освіти УРСР

Чепрасов В. Г. Задания, вопросы и задачи по астрономии: Пособие для учителей. К. Рад. школа. 1984.— 144 с. к. 14 000 экз.

Пособие в основном соответствует программе по астрономии для средней школы. Задания и задачи размещены в нем в порядке следования программных вопросов; упражнения повышенной трудности, содержание которых выходит за пределы школьного стабильного учебника, обозначены звездочкой (*).

В пособии даются примеры решения задач и заданий, имеются необходимые иллюстрации, таблицы, приложения.

Книга рассчитана на учителей астрономии, а также на читателей, проявляющих интерес к астрономическим знаниям.

Рукопис рецензували: доктор фіз.-мат. наук І. А. Климишин, кандидат фіз.-мат. наук Є. В. Сандакова, вчитель-методист В. М. Наріжний.

4306010000—123

Ч

М210(04)—84

240—84

© Видавництво
«Радянська школа», 1984

ПЕРЕДМОВА

Практика показує, що пізнавально-трудова активність школярів при вивченні астрономії значно підвищується, якщо словесне викладання цього предмета поєднується із систематичним розв'язуванням задач. Найміцніше учні засвоюють знання тоді, коли здобувають їх певною мірою самостійно, затрачаючи при цьому цілеспрямоване розумове зусилля.

Отже, під час виконання практичних завдань учень повинен вимірювати й обчислювати, оцінювати й порівнювати, здобувати шуканий кінцевий результат і на цій основі робити певні висновки про об'єкт вивчення, нехай іноді й недосконалі.

Переважаючими міркуваннями ми керувалися, добираючи завдання і задачі експериментального характеру, які допоможуть учителю в пошуку якомога активніших форм викладання шкільного курсу астрономії.

Зміст посібника відповідає програмі і, на наш погляд, охоплює всі її принципові питання. Проте розв'язання ряду задач і завдань потребує дещо більшого обсягу знань, ніж дає підручник «Астрономія» останніх років видання.

У посібнику порушується коло питань, яке, гадаємо, відповідає методичним інтересам учителя. Він знайде у ньому завдання й задачі, які зможе запропонувати учням, гуртківцям,

зустрінетесь з прикладами застосування традиційних методів дослідження небесних тіл і явищ, багатьма вправами, що відображають вимоги міжпредметних зв'язків, а також з матеріалом, на якому можна успішно формувати науковий світогляд учнів та яким можна ілюструвати використання висновків астрономії у практичній діяльності людей.

Деякі методичні поради і вказівки щодо розв'язання завдань і задач подано в кожному розділі посібника, а довідково-табличні відомості вміщено в кінці книжки.

І. ВСТУП

Як відомо, всі розділи програми, особливо цей вступний розділ, дуже обмежені нормою навчального часу. Тому вже на першому уроці слід охопити учнів короткочасними і тривалими завданнями, різними за змістом і формою.

При цьому декому з учнів варто запропонувати підготовку невеликих за обсягом рефератів з тем, що стосуються, наприклад, будови телескопів, обладнання астрономічних обсерваторій, засобів позаатмосферного дослідження космосу тощо; іншим — доручити виготовлення саморобних приладів і наочних посібників, підготовку повідомлень на уроках-конференціях і т. ін. Але всім без винятку учням треба обов'язково визначити чіткі завдання з проведення самостійних спостережень Місяця і планет, Сонця і зоряних об'єктів і т. д.

Зібрані в такий спосіб матеріали рекомендується певним чином оцінювати і широко використовувати на наступних уроках та в позакласній роботі з астрономії.

Щодо можливої тематики учнівських рефератів, спостережень і окремих індивідуальних завдань, то, добираючи її, доцільно керуватися передусім програмою і відповідними навчально-методичними джерелами та періодичними виданнями.

Очевидно, на перших двох-трьох уроках, з'ясовуючи інші програмні питання, треба одно-

часно ознайомити учнів з телескопом, зоровою трубою, біноклем, а також із зоряною картою і Шкільним астрономічним календарем. Кожен учень повинен добре знати ці важливі засоби спостереження і астрономічні посібники з тим, щоб з їх допомогою успішно орієнтуватися на небозводі і крок за кроком збагачувати свої знання про космічні об'єкти.

Розв'язуючи задачі і завдання за допомогою рухомої карти зоряного неба, бажано користуватися найновішою моделлю цього приладу — КЗН-Р (фабричного виготовлення) А. Д. Марленського.

Контур овала в накладному крузі даної карти¹ відповідає географічній широті місця $\varphi = 55^\circ \pm 5^\circ$, точка перетину в ньому небесного меридіана і першого вертикала, зображеного зігнутою лінією, визначає положення зеніту відносно горизонту і полюса світу. Вдовж краю овала нанесено азимути в межах від 0 до 360° , а на самому вертикалі — поділки висоти або зенітної відстані.

Таке вдосконалення КЗН-Р розширює межі застосування приладу, дає можливість діставати й горизонтальні координати світил, видимих в овалі, на заданий момент *місцевого середнього часу* певної дати.

Розглядаючи питання цього розділу, необхідно приділити належну увагу завданням і задачам, розв'язання яких ґрунтується на астроно-

¹ Контур овала в накладному крузі КЗН-Р для будь-якої географічної широти φ сполучає на зоряній карті точки довільних прямих сходжень, наприклад, $\alpha = 15^\circ, 30^\circ, \dots, 360^\circ$ і відповідних їм схилень, обчислених за формулою $\delta = (90^\circ - \varphi) \sin \alpha$.

мічних методах визначення географічного положення місця, стосується екліптичного руху Сонця та змін сезонів року, допомагає учням усвідомити значення астрономії для народного господарства.

Безпосереднє виконання практичних вправ доцільно проводити за схемою: вивчити умову завдання чи задачі, зробити (в разі потреби) відповідний малюнок, здобути розв'язок у загальному вигляді, дістати і пояснити шуканий результат. Для обробки порівняно громіздких цифрових даних варто використовувати обчислювальну техніку, зокрема мікрокалькулятори типу «Електроніка».

Деякі програмні питання, наприклад «Телескопи» та «Вимірювання часу», висвітлено в підручнику дуже стисло, що, звичайно, не може задовольнити інтересу до них школярів — любителів астрономії. У зв'язку з цим, а також враховуючи побажання багатьох учителів, подібні питання викладено тут більш детально й поглиблено, ніж це передбачає програма.

У розділі трапляються окремі поняття й характеристики світил, на означенні яких ми хотіли б додатково спинитися.

Так, під *блиском світила* розуміють освітленість, створювану ним у пункті спостереження на нормальній до променів площадці. *Зоряна величина* — це умовна характеристика світила, якою виражають його блиск; вона дорівнює $-2,5$ десяткового логарифма блиску (див. рівняння 1.9 та [4, с. 123]).

Для обчислення зоряної величини кратної зорі за зоряними величинами її компонентів треба спершу визначити й додати блиски компо-

нентів, після чого за сумарним блиском знайти загальну зоряну величину кратної зорі.

Там, де розглядаються системи лічби часу, дуже важко обійтися без понять *середнього сонця* і його годинного кута. Нагадаємо, що введення поняття середнього сонця зумовлено нерівномірністю видимого річного руху Сонця по екліптиці та нахилом екліптики до площини небесного екватора. Внаслідок обох обставин тривалість справжньої сонячної доби протягом року певним чином змінюється, і, отже, її не можна взяти за одиницю вимірювання часу.

Середнє сонце є фіктивною точкою, що рівномірно переміщується по небесному екватору проти руху стрілки годинника і завершує повний оберт, як і Сонце, за один рік. *Годинний кут* середнього сонця — це дуга небесного екватора або сферичний кут при полюсі світу між небесним меридіаном і кругом схилення середнього сонця. Він відлічується від південної частини небесного меридіана у напрямі добового обертання зоряного неба і періодично зростає від 0 до 24^h .

Астрономічна рефракція у всіх відповідних задачах не враховується.

Нижче наведено короткі відомості і формули, які потрібні будуть під час виконання завдань, розв'язання задач і з'ясування відповідей на запитання до розділу.

Телескопи. Телескопами називають прилади, призначені для спостережень небесних об'єктів. За будовою оптичних систем вони поділяються на лінзові (рефрактори), дзеркальні (рефлектори) та дзеркально-лінзові, зокрема меніскові, телескопи (див. мал. 1).

Основними фізичними характеристиками будь-якого телескопа є:

Відносний отвір об'єктива (A) телескопа — величина, що визначає освітленість зображення, утвореного об'єктивом

$$A = D : F, \quad (1.1)$$

де D і F — діаметр і фокусна відстань об'єктива.

Збільшення телескопа (Γ) при візуальному розгляді об'єкта

$$\Gamma = F : f, \quad (1.2)$$

де f — фокусна відстань окуляра.

Роздільна здатність телескопа (ρ) — характеристика, що визначається найменшою кутовою відстанню між точковими об'єктами, помітними в телескоп окремо, без злиття в одне розпливчасте зображення; для спостережень у видимому світлі,

$$\rho = \frac{14}{D} \text{ (секунд дуги)}, \quad (1.3)$$

де D — діаметр об'єктива в сантиметрах.

Проникна сила телескопа (m_*); вона вимірюється зоряною величиною зорі гранично слабкого блиску, яку ще можна побачити в цей телескоп у безмісячну ніч поблизу точки зеніту при спокійній атмосфері; обчислюється m_* за формулою

$$m_* = 7,5 + 5 \lg D \text{ (зоряної величини)}, \quad (1.4)$$

де D — діаметр об'єктива в сантиметрах.

Лінійний розмір зображення (l) неточкового небесного об'єкта (Місяця, туманності, планети тощо) у фокальній площині об'єктива телескопа є:

$$l = \frac{F \cdot d}{206265''}, \quad (1.5)$$

де F — фокусна відстань об'єктива, d — видимий кутовий розмір даного об'єкта в секундах дуги, 206265 — число кутових секунд в одному радіані.

Масштаб зображення, яке дає об'єктив телескопа, згідно з (1.5), визначається відношенням

$$\mu = d : l = 206265'' : F \text{ (секунд дуги/мм)}. \quad (1.6)$$

Формула Погсона, що виражає відношення блисків двох світил із видимими величинами m_1 і m_2 ,

$$\frac{I_1}{I_2} = 2,512^{m_2 - m_1}, \quad (1.7)$$

де 2,512 — відношення блисків, які відрізняються на одну зоряну величину ($m_2 - m_1 = 1$).

Ця формула в логарифмічному вигляді записується як

$$\lg \frac{I_1}{I_2} = 0,4 (m_2 - m_1), \quad (1.8)$$

де $0,4 = \lg 2,512$.

Звідси, вважаючи, що блиск світила нульової зоряної величини дорівнює одиниці, матимемо для спряженої пари характеристик I і m будь-якого джерела світла

$$\lg I = -0,4m, \text{ або } m = -2,5 \lg I. \quad (1.9)$$

Системи лічби часу. *Середній сонячний час* (T_m).

Основною одиницею вимірювання часу, загальноприйнятою в повсякденному житті, є середня сонячна доба — інтервал часу між двома послідовними нижніми кульмінаціями середнього сонця на тому самому географічному меридіані. Середня доба $= 24^h = 1440^m = 86400^s$ середніх.

Середній час, що минає від початку доби (середньої полуночі), визначається годинним

кутом середнього сонця t_m , тобто $T_m = t_m + 12^h$. Оскільки вимірювання t_m практично нездійсненне, середній час можна обчислювати за формулою

$$T_m = T_\odot + \eta, \quad (1.10)$$

де $T_\odot$ — справжній сонячний час¹, η — рівняння часу².

Для кожного меридіана земної поверхні, очевидно, є свої власні початок доби і середній час, причому різниця місцевого середнього часу двох довільних пунктів Землі дорівнює різниці їх географічних довгот, виражених у годинній мірі:

$$T_{m_1} - T_{m_2} = \lambda_1 - \lambda_2. \quad (1.11)$$

Всесвітній час (T_0) є місцевий середній час грінвіцького меридіана ($\lambda_0 = 0$); згідно з правилом (1.11) географічна довгота будь-якого пункту Землі

$$\lambda = T_m - T_0, \quad (1.12)$$

де T_m — середній час даного пункту.

Поясний час (T_n), тобто середній час на меридіані, що проходить через середину годинного пояса і прийнятий в усьому даному поясі,

$$T_n = T_m + n - \lambda, \quad (1.13)$$

$$T_n = T_0 + n, \quad (1.14)$$

де n — номер годинного пояса (в годинах), T_0 — всесвітній час.

¹ Справжній сонячний час визначається вимірюванням годинним кутом центра сонячного диску $t_\odot$ і відлічується від моменту нижньої кульмінації Сонця ($T_\odot = t_\odot + 12^h$).

² Значення η на ту чи іншу дату дається в астрономічних календарях (щорічниках) або може бути знайдено за графіком рівняння часу (див. мал. 8).

Декретний час (T_d) — лічба часу, введена урядовим декретом нашої країни 16 червня 1930 р. В ній час збільшено на одну годину відносно поясного часу,

$$T_d = T_n + 1^h. \quad (1.15)$$

Беручи до уваги (1.14), (1.13) і (1.10), матимемо також, що

$$T_d = T_0 + n + 1^h, \quad (1.16)$$

$$T_d = T_m + n - \lambda + 1^h, \quad (1.17)$$

$$T_d = T_{\odot} + \eta + n - \lambda + 1^h. \quad (1.18)$$

Для двох довільних пунктів земної кулі, розміщених у різних годинних поясах n_1 і n_2 , справедлива рівність

$$T_{d_1} - T_{d_2} = n_1 - n_2. \quad (1.19)$$

Декретний час II поясу називається *московським*, а декретний час III поясу часто називають *волзьким*, IV поясу — *уральським* і т. д. (див. табл. II на с. 139).

Літній час (T_n). Починаючи з 1981 р., в СРСР введено літній час: на період від 1 квітня до 1 жовтня стрілки годинників переводяться на одну годину вперед відносно декретного часу,

$$T_n = T_d + 1^h. \quad (1.20)$$

Календар — система лічби великих інтервалів часу (літочислення) з поділом на роки, місяці і доби. Порядкові номери років у будь-якому літочисленні ведуться від умовного моменту — епохи тієї чи іншої ери.

Коли дати якихось подій або явищ за юліанським календарем (старим стилем) переводять на дати григоріанського календаря (но-

вого стилю), дати за старим стилем збільшують так:

в інтервалі від 5.X.1582 р. до 29.II.1700 р. на 10^d ,
від 1.III.1700 р. до 29.II.1800 р. на 11^d ,
від 1.III.1800 р. до 29.II.1900 р. на 12^d ,
від 1.III.1900 р. до 29.II.2100 р. на 13^d .

Приклад 1. Телескоп типу «Меніскас» має об'єктив з діаметром $D=150$ мм і еквівалентною фокусною відстанню $F=2250$ мм. Знайти: а) відносний отвір об'єктива і фокусну відстань окуляра, який слід застосувати, щоб дістати збільшення об'єкта у 180 разів; б) масштаб зображення та проникну силу телескопа. Чи можна розрізнити в цей телескоп компоненти подвійної зорі у Кита, якщо видима кутова відстань між ними $d=2''{,}8$?

Розв'язання. Користуючись формулами, що виражають основні характеристики телескопа, обчислюємо: відносний отвір об'єктива та фокусну відстань окуляра $A=D:F=150:2250=1:15$, $f=F:\Gamma=2250\text{ мм}:180=12{,}5$ мм; проникну силу телескопа і масштаб зображення об'єкта у фокальній площині його об'єктива $m_*=7{,}5+5\lg 15=7{,}5+5\cdot 1{,}1761\approx 13{,}4$, $\mu=206265'' : F=206265'' : 2250\text{ мм}\approx 92''\cdot\text{мм}^{-1}$.

Знаходимо роздільну здатність телескопа, $p=\frac{14''}{15\text{ (см)}}\approx 0{,}9$; оскільки тут числове значення $p < d$, то, очевидно, вказану зорю даний телескоп розрізняє на компоненти.

Приклад 2. Визначити за ... допомогою КЗН-Р періоди календарних дат, в які на географічній широті $\varphi=55^\circ$ щодоби від 21^h до

23^h місцевого середнього часу: а) М 44 — розсіяне зоряне скупчення Ясла в сузір'ї Рака — можна спостерігати; б) цей об'єкт недоступний для спостережень.

Розв'язання. а) Обертаючи карту, встановлюємо М 44 на лінію східної частини горизонту і проти відмітки 21^h лімба накладного круга дістаємо на шкалі карти дату — 20 листопада. Потім переводимо об'єкт М 44 в положення його заходу і проти відмітки 23^h накладного круга дістаємо іншу календарну дату — 14 червня.

Отже, зоряне скупчення М 44 можна спостерігати у вказаний проміжок часу доби в період від 20.XI до 14.VI (наступного року).

б) Залишаючи об'єкт М 44 на лінії західної частини горизонту, знімаємо проти відмітки 21^h лімба накладного круга відлік дати на шкалі карти — 15 липня. Потім встановлюємо М 44 в положення його сходу і проти відмітки 23^h лімба накладного круга маємо відповідну календарну дату — 21 жовтня.

Отже, об'єкт М 44 недоступний для спостереження у зазначений час доби в період від 15 липня до 21 жовтня.

Приклад 3. Знайти, чому дорівнює місцевий середній і поясний час м. Запоріжжя (II пояс, $\lambda = 2^h 20^m 7^s$) в момент, коли 16 травня на його сонячному годиннику було 12^h 00^m. Визначити різницю між літнім московським і середнім часом цього міста.

Розв'язання. Знаходимо за графіком (див. мал. 8) рівняння часу на 16 травня і, користуючись формулами (1.10) і (1.13), — місцевий середній та поясний час м. Запо-

ріжжя на зазначений момент: $\eta = -3^m 5^s$;
 $T_m = T_{\odot} + \eta = 12^h 00^m - 3^m 5^s = 11^h 56^m 5^s$; $T_n =$
 $= T_m + n - \lambda = 11^h 56^m 5^s + 2^h - 2^h 20^m 7^s = 11^h 35^m 8^s$.

Обчислюємо різницю між літнім московським, або літнім часом II поясу, і середнім часом: $T_n - T_m = n - \lambda + 2^h = 2^h - 2^h 20^m 7^s + 2^h = 1^h 39^m 3^s$, тобто в м. Запоріжжі літній московський час випереджує місцевий середній час на 1^h 39^m 3^s.

* * *

1—1. Назвіть і коротко охарактеризуйте відомі вам методи вивчення Всесвіту.

1—2. Наведіть приклади тісного зв'язку астрономії з іншими науками у дослідженні космосу.

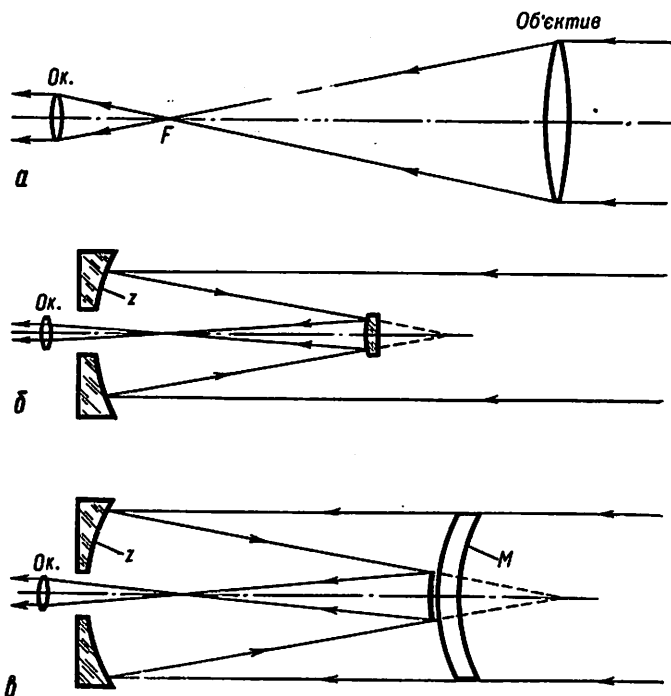
1—3. Поясніть схему проходження променів від світила в рефракторі, рефлекторі та в менісковому телескопі (мал. 1). Що править за об'єktiv у системі телескопа Д. Д. Максудова?

1—4. Від чого і як залежить збільшення телескопа? Які переваги і недоліки максимального збільшення, що його може дати телескоп?

1—5. На двох замінних окулярах телескопа позначено їх кратності збільшення, а саме: 10 $\times$ та 25 $\times$. Чому дорівнює фокусна відстань кожного з цих окулярів?

1—6. Шкільний телескоп-рефрактор (мал. 2) характеризується такими даними: фокусна відстань об'єктива $F = 80$ см, діаметр вхідного отвору труби $D = 8$ см, фокусні відстані трьох його замінних окулярів відповідно дорівнюють $f_1 = 10$ мм, $f_2 = 20$ мм і $f_3 = 28$ мм.

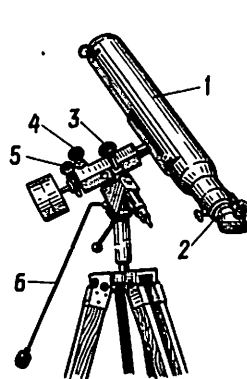
Користуючись формулами (1.1) — (1.4), знайдіть: а) відносний отвір об'єктива та



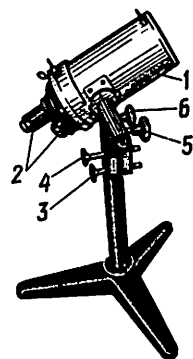
Мал. 1. Схеми проходження променів від світила:
а — в рефракторі; б — в рефлекторі (z — параболічне дзеркало); в — в менісковому телескопі (z — сферичне дзеркало, M — меніск).

збільшення зображення спостережуваного об'єкта, яке створюється телескопом при застосуванні кожного із зазначених окулярів; б) роздільну здатність та проникну силу телескопа.

1—7. Обчисліть лінійний діаметр зображення Місяця у фокальній площині об'єктива шкільного рефрактора, якщо фокусна відстань



Мал. 2. Шкільний телескоп-рефрактор:
1 — труба; 2 — окулярна частина з механізмом фокусування; 3 і 5 — гвинти, що скріплюють трубу з її осями обертання; 4 і 6 — ключі точного наведення труби по схиленню і прямому сходженню.



Мал. 3. Телескоп менісковий шкільний (ТМШ): 1 — труба, 2 — заміні окуляр, 3 і 4, 5 і 6 — ключі точного наведення труби по зенітній віддалі й азимуту, гвинти скріплення труби з горизонтальною і вертикальною осями обертання.

об'єктива $F=60$ см, а видимий кутовий діаметр Місяця становить близько $31'$.

1—8. Еквівалентна фокусна відстань і діаметр об'єктива меніскового телескопа шкільного типу (мал. 3) відповідно дорівнюють $F=70$ см і $D=7$ см, а фокусні відстані двох його заміних окулярів становлять $f_1=10$ мм і $f_2=28$ мм.

Визначте: а) відносний отвір об'єктива та збільшення, що їх дає цей телескоп при використанні першого і другого окулярів; б) роздільну здатність та проникну силу даного телескопа.

1—9. Найбільший у світі телескоп АН СРСР має головне дзеркало параболічної форми з діаметром 6 м і фокусною відстанню, що дорівнює 24 м. Знайдіть роздільну здатність та проникну силу, або граничну зоряну величину, доступну для візуальних спостережень, даного телескопа.

1—10. У найпростішому саморобному телескопі роль об'єктива виконує тонка збиральна лінза з фокусною відстанню 75 см і діаметром 5 см; окуляром у ньому є збиральна лінза, фокусна відстань якої $f=30$ мм. Визначте відносний отвір, збільшення та проникну силу такого телескопа.

1—11. Любительська зорова труба, що має об'єктив з діаметром вхідного отвору $D=80$ мм і фокусною відстанню $F=120$ см, оснащена трьома замінними окулярами відповідно з $f_1=10$ мм, $f_2=16$ мм і $f_3=40$ мм. Визначте за цими даними: а) відносний отвір об'єктива та збільшення труби при застосуванні її окулярів; б) які подвійні зорі серед α Скорпіона ($3''4$), ζ Фенікса ($0''8$) і γ Дельфіна ($10''4$) ця труба розділяє на компоненти? (В дужках зазначено кутові відстані між зорями-компонентами кожної подвійної).

1-12. Об'єктивом телескопа астрономічної обсерваторії Маунт Паломар (США) є дзеркало з діаметром 5 м і відносним отвором 1:3,3.

Знайдіть фокусну відстань і роздільну здатність цього телескопа.

1-13. Обчисліть лінійний розмір фокального зображення Юпітера на знімку, здобутому за допомогою астрографа з еквівалентною фокусною відстанню 20 м, якщо в момент фотографу-

вання видимий кутовий діаметр цієї планети становив близько $40''$.

1-14. Для фотографування небесних об'єктів було використано астрограф; фокусна відстань об'єктива якого дорівнює 5 м. Визначте лінійні розміри фокального зображення в ньому: а) кульового зоряного скупчення М 71 з видимим кутовим діаметром $d=10'$; б) спіральної галактики М 63, що спостерігається (по довжині) під кутом $16'$.

Чому дорівнює масштаб зображення для даного астрографа (у секундах дуги/мм)?

1-15. Що розуміють під сузір'ям зоряного неба? Наведіть приклади позначень зір того чи іншого сузір'я.

1-16. Зобразіть на папері взаємне розташування яскравих зір у сузір'ях: В. Ведмедиці, М. Ведмедиці, Кассіопеї, Лебедя і Орла. Перелічіть назви кількох найяскравіших або чимсь іншим примітних зір у цих сузір'ях.

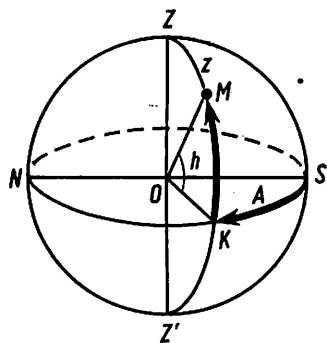
1-17. Знайдіть відношення блисків двох зір, видимі зоряні величини яких становлять відповідно $m_1=1,00$ і $m_2=12,00$.

1-18. Чому дорівнює видима зоряна величина світила, блиск якого у 100 разів слабший від блиску Капелли (α Візничого) із $m=0,21$.

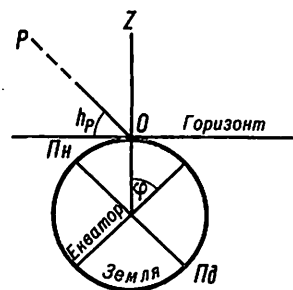
1-19. Компоненти подвійної зорі Кастор (α Близнят) мають видимі зоряні величини $m_1=1,99$ і $m_2=2,85$. Визначте видиму зоряну величину Кастора.

1-20. Обчисліть видиму зоряну величину подвійної зорі, якщо зоряна величина її першого компонента $m_1=3,50$, а блиск другого компонента слабший від блиску першого у три рази.

1-21. В результаті вимірювання діаметри



Мал. 4. Круг висоти і горизонтальні координати зорі M .



Мал. 5. До з'ясування теорема про висоту полюса світу над горизонтом.

зображень зір π , δ і ϵ Тельця на фотознімку неба дорівнювали відповідно 4,10 і 13 поділок шкали вимірювального приладу. Зважаючи на те, що на фотопластинці розміри зір однакового кольору прямо пропорційні їх блискам, знайдіть видиму зоряну величину π та ϵ Тельця, якщо зоряна величина δ Тельця $m=3,9$.

1-22. Намалюйте небесну сферу, позначивши положення: північного і південного полюсів світу, точок zenіту і надиру, небесного екватора, горизонту і небесного меридіана. Дайте означення кожному із зазначених елементів небесної сфери.

1-23. З'ясуйте, яким елементам небесної сфери відповідають такі точки і лінії на поверхні земної кулі: екватор, місцевий меридіан, географічні полюси і паралелі.

1-24. Покажіть на моделі небесної сфери вертикал, або круг висоти деякого світила та

Його горизонтальні координати — висоту і азимут; дайте означення цих координат.

1-25. Беручи до уваги, що висота h світла набуває значення від 0 до $+90^\circ$ у бік zenіту і від 0 до -90° у бік надиру (мал. 4), а їх zenітна відстань z — від 0 до 180° , доведіть на прикладах справедливості рівняння

$$h + z = 90^\circ. \quad (1.21)$$

1-26. Покажіть на моделі небесної сфери області, в яких знаходяться в даний момент світила з координатами: $A=45^\circ$ і $h=50^\circ$, $A=300^\circ$ і $z=120^\circ$.

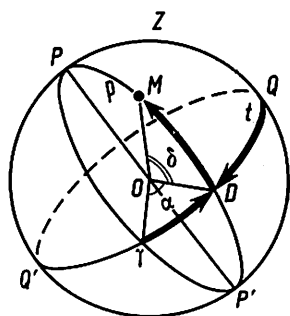
1-27. На мал. 5 є, зокрема, такі позначення: O — місцезнаходження спостерігача, φ — його географічна широта, h_P — висота полюса світу над горизонтом. Доведіть, що $h_P = \varphi$; сформулюйте висновок.

1-28. Визначте кут, що його утворюють площини екватора і горизонту в містах Баку ($\varphi=40^{\circ}21'$), Ровно ($\varphi=50^{\circ}38'$), Виборзі ($\varphi=60^{\circ}43'$).

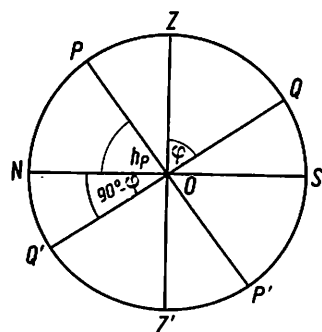
1-29. Що таке круг схилення, пряме сходження і схилення світила? Покажіть екваторіальні координати (α , δ) деякої зорі на моделі небесної сфери та на зоряній карті.

1-30. Накресліть небесну сферу з її основними елементами в проекції на площину небесного меридіана, позначте на кресленні положення однієї зорі, що перебуває у верхній кульмінації, і другої зорі, що перебуває у нижній кульмінації.

1-31. З'ясуйте розташування на зоряній карті положення полюса світу, небесного екватора та інших елементів небесної сфери. Знайдіть на карті сузір'я: Оріона, Геркулеса,



Мал. 6. Круг схилення та екваторіальні координати зорі M .



Мал. 7. Небесна сфера в проекції на площину небесного меридіана.

Візничого і Андромеди та найяскравіші зорі: Сіріус (α В. Пса), Вега (α Ліри), Регул (α Лева), Спіку (α Діви) і Альдебаран (α Тельця).

1-32. Як відомо, прямі сходження зір відлічують від точки весняного рівнодення проти руху стрілки годинника. Чому на зоряній карті, яку ви розглядаєте, прямі сходження відкладаються за стрілкою годинника?

1-33. Нехай ρ — кутове віддалення зорі від полюса світу або її полярна відстань (мал. 6). Беручи до уваги, що ρ світил набуває значення від 0 до 180° , а схилення δ — від 0 до $+90^\circ$ і від 0 до -90° , доведіть на прикладах справедливості рівняння

$$\delta + \rho = 90^\circ \quad (1.22)$$

1-34. Зважаючи на те, що висота полюса світу дорівнює географічній широті місця, визначте стосовно до місцевості з широтою

$\varphi = 50^\circ$ (див. мал. 7), чому дорівнюють: а) висота і зенітна відстань полюсів світу (P, P') та південної і північної точок небесного екватора (Q і Q'); б) схилення і полярна відстань зеніту (Z), надиру (Z'), точок півночі (N) і півдня (S).

1-35. Відшукайте на зоряній карті зорі Арктур (α Волопаса), Аліот (ϵ В. Ведмедиці) і Арнеб (α Зайця); визначте наближено за картою їхні екваторіальні координати і результати запишіть у таку таблицю:

№ п/п	Назва сузір'я	Назва і позначення зорі	Координати	
			α	δ
1				
2				
3				

1-36. Нижче наведено наближені координати трьох найяскравіших зір відповідних сузір'їв. За допомогою зоряної карти і Навчального зоряного атласа встановіть позначення, назви і точні координати зазначених світил. Результати запишіть у незаповнені стовпчики такої таблиці:

№ п/п	Наближені координати зір		Назви і позначення зір	Координати зір за атласом	
	α_H	δ_H		α	δ
1	$5^h 15^m$	$+45^\circ$			
2	$6^h 45^m$	-17°			
3	$19^h 50^m$	$+10^\circ$			

1-37. Зоря в Дракона віддалена від північного полюса світу на $38^{\circ}30'5''$, а зоря в Козерога — на $103^{\circ}47'3''$. Знайдіть схилення цих зір.

1-38. Ознайомтеся з будовою рухомої карти зоряного неба. Установіть карту так, щоб дата 20 вересня на календарній шкалі карти сумістилася з відміткою 12^h (за місцевим часом) на лімбі накладного круга. Розгляньте сузір'я, розташовані в межах овалу накладного круга. Які сузір'я і яскраві зорі в цей час сходять, заходять, знаходяться у верхній і нижній кульмінаціях? Зорі якого сузір'я у вказаний час перебувають поблизу точки zenіту?

1-39. Обертаючи накладний круг КЗН-Р у напрям, що відповідає добовому обертанню небозводу, простежте за зміною положень сузір'їв відносно меридіана, точки zenіту і лінії горизонту. Відмітьте деякі зорі і сузір'я, що сходять, заходять, перебувають у верхній та нижній кульмінаціях і знаходяться поблизу точки zenіту о 10 годині вечора 20 жовтня, в момент настання нового року та о 6^h30^m 15 травня.

1-40. Розгляньте спосіб орієнтування на місцевості з допомогою КЗН-Р за зорями нічного неба. Установіть, наприклад, карту так, щоб дата 30 квітня її шкали сумістилась з відміткою 23^h лімба накладного круга. В якому напрямі щодо основних точок горизонту і частин небозводу спостерігач побачить у зазначені час і дату: Альтаір (α Орла), Спіку (α Діви), Проціон (α М. Пса)?

1-41. Визначте, користуючись КЗН-Р, наближені азимуту руху мандрівника 24 серпня о 2^h , якщо перед собою, поблизу горизонту, він бачитиме: Рігель (β Оріона), Фомальгаут

(α Південної Риби), яскраві зорі сузір'я Північної Корони?

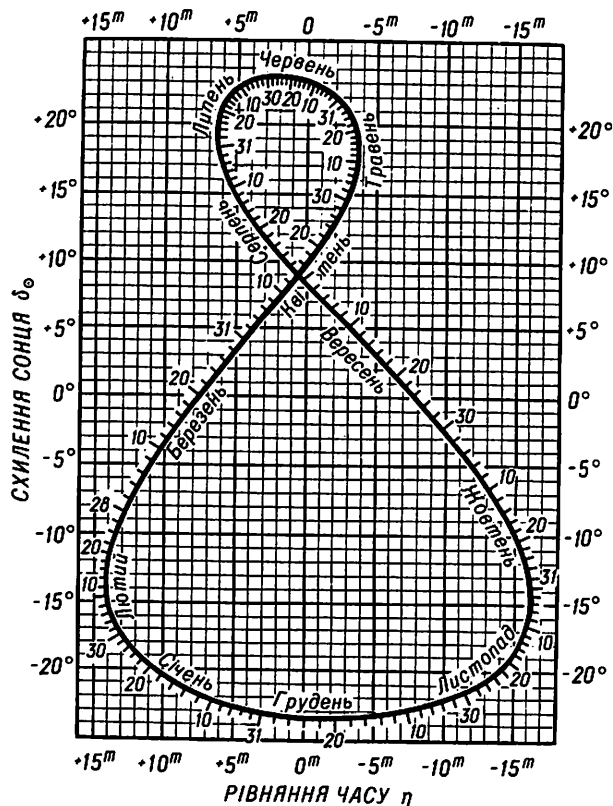
1-42. З'ясуйте, які сузір'я і яскраві зорі видно в овалі накладного круга КЗН-Р о 22^h : 15 червня, 15 липня, 15 серпня і т. д. Поясніть причину річної зміни вигляду зоряного неба над горизонтом даного місця.

1-43. Знайдіть за допомогою КЗН-Р: а) моменти місцевого середнього часу, в які сходять, перебувають у верхній та нижній кульмінаціях і заходять: Поллукс (β Близнят) 5 червня, Еніф (ϵ Пегаса) 17 лютого; б) азимуту сходу і заходу зорі Хамаль (α Овна) та моменти її сходу 15, 20, 25 березня і т. д.; чому з кожним наступним днем зоря сходить все раніше? На скільки хвилин раніше?

1-44. Покажіть, скориставшись КЗН-Р, що зорі Мекаб (α Кита) і Діфда (β Кита) з'являються над горизонтом Москви одночасно, причому 30 грудня вони сходять близько 14^h05^m за місцевим середнім часом. Визначте моменти заходу кожної з цих зір у вказану дату та азимуту їх сходу і заходу.

1-45. Встановіть за допомогою КЗН-Р, чому дорівнюють: а) висота і азимут зорі Беллатрікс (γ Оріона) та азимут і zenітна відстань зорі Бенетнаш (η В. Ведмедини) 10 квітня о 21^h50^m ; б) висота, zenітна відстань і азимут зорі Альбірео (β Лебедя) 15 серпня о 2^h30^m .

1-46. З'ясуйте за допомогою КЗН-Р періоди календарних дат, в які доступні для спостереження від 21^h до 23^h : дифузна газопилова туманність в сузір'ї Оріона, розсіяне зоряне скупчення Плеяди в сузір'ї Тельця, кратна система зір Міцар (ζ В. Ведмедини).



Мал. 8. Графік рівняння часу η та схилення Сонця $\delta_{\odot}$

1-47. Що таке екліптика? Назвіть і покажіть на зоряній карті зодіакальні сузір'я, через які вона пролягає. Зазначте сузір'я, що їх проходить Сонце у січні, березні, червні, вересні, жовтні та грудні.

1-48. Чим пояснюється нахил екліптики до небесного екватора та нерівномірність екліптичного руху Сонця?

Користуючись графіком, який показано на мал. 8; простежте за зміною схилення Сонця протягом тижня, місяця і року.

1-49. Знайдіть на зоряній карті положення північного полюса екліптики і визначте його екваторіальні координати.

1-50. Випишіть з астрономічного календаря координати Сонця, Місяця і якої-небудь планети на певну дату. Нанесіть за даними координатами положення вказаних світил на зоряну карту і визначте звідси, в яких сузір'ях перебувають у цей день Сонце, Місяць і взята планета та яке розташування їх відносно екліптики (там, де вище чи нижче екліптики, то приблизно на скільки градусів).

1-51. Визначте за допомогою КЗН-Р: а) моменти часу й азимуту сходу та заходу Сонця 9 травня; б) якого числа і о котрій годині Сонце сходить одночасно з Альтаіром (α Орла).

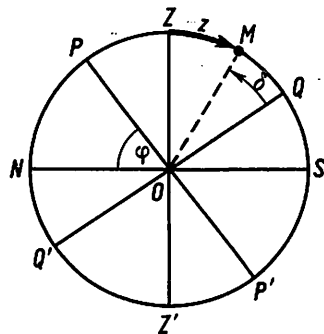
1-52. Знайдіть, користуючись КЗН-Р: а) на скільки годин і хвилин зростає світлова частина доби в період з 21 березня до 22 червня; б) на скільки градусів змінюються за цей період азимуту точок сходу і заходу Сонця.

1-53. На мал. 9 показано зорю (M) у меридіані, z і δ — відповідно її зенітна відстань і схилення. Доведіть, що географічна широта місця спостереження

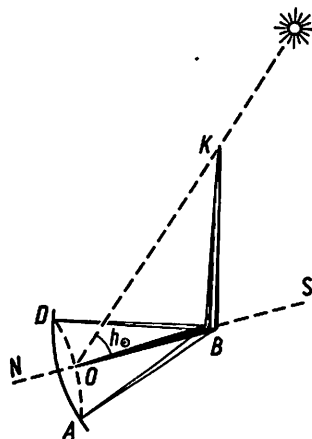
$$\varphi = 90^\circ - h + \delta. \quad (1.23)$$

1-54. Зоря Міра зі схиленням $\delta = -3^\circ 12'$ спостерігалась у Вінниці в меридіані на висоті $37^\circ 35'$ південного неба. Знайдіть географічну широту м. Вінниці.

1-55. Обчисліть зенітну відстань, на якій кульмінує Сонце в день літнього сонцестояння в м. Єсентуки ($\varphi = 45^\circ 01'$), в м. Петрозаводську ($\varphi = 61^\circ 45'$).



Мал. 9. Зоря M у верхній кульмінації на південь від зеніту.



Мал. 10. Гномон. До визначення висоти Сонця в меридіані.

1-56. Визначте географічну широту φ вашої місцевості за гномоном (у денний час) у такий спосіб:

1. Установіть на астрономічному майданчику гномон (мал. 10) відомої висоти (KB) і випишіть з астрономічного календаря значення схилення Сонця ($\delta_{\odot}$) на дату спостереження.

2. Виміряйте довжину тіні (BO) гномона в момент, коли вона лягає уздовж полуденної лінії (NS), тобто стає найкоротшою в цей день.

3. Обчисліть шукану широту за відомою формулою

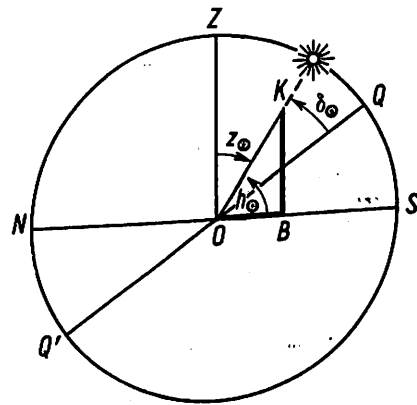
$$\varphi = 90^\circ + \delta_{\odot} - h_{\odot}, \quad (1.23a)$$

де $h_{\odot} = \arctg (KB : BO)$.

4. Дістаньте аналогічно 3—4 значення широти й оцініть результат знаходженням абсолютної похибки: $\varphi = \varphi_c \pm \Delta\varphi_c = \dots$

1-57. Припустимо, що, виконуючи завдання 1-56, здобули: $KB = 80$ см, $BO = 50$ см і $\delta_{\odot} = +20^\circ 30'$. Обчисліть за цими даними географічну широту місця (φ), користуючись формулою (1.23a). Зіставте одержану широту з висотою полюса світу над горизонтом вашого місцезнаходження.

1-58. Нехай, визначаючи географічну широту місця (див. завдання 1-56), виявилось, що висота гномона $KB = 80$ см, довжина його тіні опівдні $BO = 50$ см, схилення Сонця у дату спостереження $\delta_{\odot} = +20^\circ 30'$. Опрацюйте ці дані графічним способом, а саме: 1. Відкладіть на міліметровому папері в певному масштабі відрізки KB та BO і зобразіть напрями на Сонце і на точку зеніту (мал. 11). 2. Добудуйте за допомогою транспортира кут схилення $\delta_{\odot}$ до висоти $h_{\odot}$, враховуючи напрями їх від-



Мал. 11. До знаходження географічної широти φ — кута QOZ .

ліку, і, отже, дістаньте положення небесного екватора QQ' на малюнку.

2. Виміряйте транспортиром кут QOZ , який, очевидно, являтиме собою шукану широту φ ; результат порівняйте з відповіддю до задач 1-57.

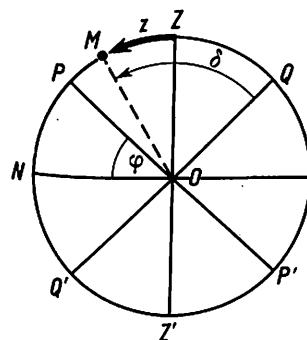
1-59. Шкільна «служба Сонця», вимірюючи полуденну висоту Сонця ($h_{\odot}$) за допомогою гномона (див. завдання 1-56), дістала на географічній широті $\varphi=50^\circ$, зокрема, такі дані:

Дата	21.III.	20.IV.	20.V.	22.VI.	20.VII	20.VIII.
$h_{\odot}$	40°00'	51°18'	59°51'	63°27'	60°48'	52°40'

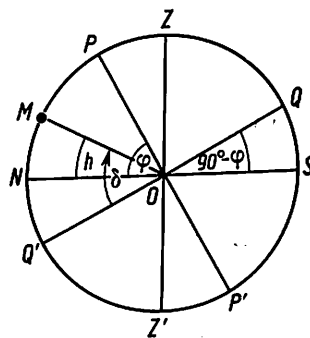
Дата	20.IX.	20.X.	20.XI.	22.XII.	20.I.	20.II.
$h_{\odot}$	41°21'	29°53'	20°27'	16°33'	19°44'	28°51'

На основі цього: а) побудуйте графік річної зміни полуденної висоти $h_{\odot}$, відкладаючи на осі абсцис, що буде площиною горизонту, дати спостережень, а на осі ординат — відповідні їм значення $h_{\odot}$; б) проведіть на графіку пряму, паралельну осі абсцис, на рівні висоти $90^\circ - \varphi = 90^\circ - 50^\circ = 40^\circ$, яка, очевидно, визначатиме незмінне положення небесного екватора відносно горизонту місця спостереження; в) знайдіть за графіком кут нахилу екліптики до екватора, а також дати, в які кутові відстані Сонця від площини екватора є нульовими та екстремальними.

1-60. Зоря спостерігається у верхній кульмінації в бік північного полюса світу від точки



Мал. 12. Зоря M у меридіані на північ від зеніту.



Мал. 13. Зоря M у нижній кульмінації.

зеніту (мал. 12). Доведіть, що в цьому випадку географічна широта місця

$$\varphi = \delta - 90^\circ + h, \quad (1.24)$$

де δ і h — схилення і висота зорі.

1-61. Зорю (M) із схиленням δ видно в момент її нижньої кульмінації на висоті h (мал. 13). Доведіть, що в цьому разі географічна широта місця

$$\varphi = 90^\circ + h - \delta. \quad (1.25)$$

1-62. Верхня кульмінація деякої зорі спостерігалась у м. Андижани на висоті $73^\circ 56'$ у бік півночі від точки зеніту, а нижня кульмінація її — на висоті $7^\circ 42'$. Визначте за цими даними схилення зорі і географічну широту Андижана.

1-63. У м. Дніпропетровську ($\varphi=48^\circ 30'$) зоря Мегрец, що не заходить, у момент верхньої кульмінації спостерігається на зенітній відстані

$z=8^{\circ}49'$, а в м. Ризі ($\varphi=56^{\circ}58'$) зорю Мірам у нижній кульмінації видно на висоті $h=22^{\circ}39'$. Визначте схилення кожної з цих зір.

1-64. Покажіть за допомогою моделі небесної сфери, що $\delta \geq + (90^{\circ} - \varphi)$ є умовою незаходження світила (зі схиленням δ) за горизонт, а $\delta \leq - (90^{\circ} - \varphi)$ — виражає умову несходження світила на широті φ .

Застосовуючи ці критерії, визначте, які із зазначених нижче зір не заходять у м. Горькому ($\varphi=56^{\circ}19'$) і які там заходять і сходять: Шератан (β Овна), $\delta=+20^{\circ}41'$; Тубан (α Дракона), $\delta=+64^{\circ}37'$; Шедар (α Кассіопеї), $\delta=+56^{\circ}24'$; Альфард (α Гідри), $\delta=-08^{\circ}33'$.

1-65. Обчисліть висоти, на яких спостерігається Сонце в момент справжнього полудня: 23 вересня — у м. Мелітополі ($\varphi=46^{\circ}51'$), 22 грудня — в м. Острозі ($\varphi=50^{\circ}20'$), 21 березня — в м. Тюмені ($\varphi=57^{\circ}10'$), 22 червня — в м. Тбілісі ($\varphi=41^{\circ}43'$).

1-66. Визначте широту географічної паралелі, на якій спостерігається проходження через точку зеніту зорі Дубхе ($\delta=+62^{\circ}01'$), зорі Бетельгейзе ($\delta=+7^{\circ}24'$).

1-67. У м. Бахчисараї ($\varphi=44^{\circ}45'$) Сонце спостерігалось на полуденній висоті $h_{\odot}=50^{\circ}$. Знайшовши схилення Сонця, встановіть за допомогою астрономічного календаря дати, в які проведено спостереження.

1-68. Увечері учень спостерігав верхню кульмінацію деякої зорі на висоті $66^{\circ}5'$ в сторону півночі від зеніту, а виміряна ним висота тієї ж зорі у нижній кульмінації дорівнювала $35^{\circ}7'$. Знайдіть схилення цієї зорі та географічну широту місця спостереження.

1-69. В моменти верхньої і нижньої кульмінацій зоря, що не заходить, спостерігалась відповідно на зенітній відстані $z=40^{\circ}10'$ і на висоті $h=35^{\circ}28'$. Чому дорівнюють схилення зорі та висота полюса світу над горизонтом місця спостереження?

1-70. Знайдіть висоту Місяця, на якій він буває у момент верхньої кульмінації 15 травня в містах Білгороді-Дністровському ($\varphi=46^{\circ}12'$), Чигирині ($\varphi=49^{\circ}05'$), Ленінграді ($\varphi=59^{\circ}56'$). Схилення Місяця на зазначену дату взяти з астрономічного календаря поточного року.

1-71. Вісь світу нахилена до площини горизонту м. Ізмаїла під кутом $45^{\circ}20'$. На якій зенітній відстані спостерігається в цьому місті зоря Мерак (β В. Ведмедиці) зі схиленням $\delta=+56^{\circ}31'$ в моменти її верхньої та нижньої кульмінації?

1-72. Знаючи схилення Сонця у дні рівнодень і сонцестоянь, визначте широти географічних паралелей, у точках яких: а) опівдні 21 березня і 23 вересня Сонце буває в зеніті; б) 22 червня і 22 грудня полуденна висота Сонця становить 90° ; в) опівдні 22 грудня Сонце з'являється на горизонті ($h_{\odot}=0^{\circ}$).

Покажіть положення цих паралелей на глобусі і назвіть їх. Зазначте також географічні широти розмежування відомих теплових поясів на Землі.

1-73. Спостерігач, який знаходиться на північному тропіку земної кулі, помітив, що деяка зоря у своєму добовому русі проходить через точку зеніту. Чому дорівнює полярна відстань і схилення цієї зорі?

1-74*. З'ясуйте, чи сходить зоря Факт (α Голуба), схилення якої дорівнює $-34^{\circ}07'$,

над горизонтом м. Ковеля ($\varphi=51^{\circ}13'$), м. Архангельська ($\varphi=64^{\circ}33'$).

1-75*. Визначте значення схилення, якими обмежені область зір, що не заходять для м. Хабаровська ($\varphi=48^{\circ}28'$) та область зір, що не сходять для м. Чкалова ($\varphi=51^{\circ}45'$).

1-76. Знайдіть схилення, якими обмежена область зір, що сходять і заходять у м. Сухумі ($\varphi=43^{\circ}00'$) та м. Охотську ($\varphi=59^{\circ}21'$).

1-77. Обчисліть, на яку висоту опускається центр Сонця в момент нижньої кульмінації 22 червня під горизонт м. Очакова ($\varphi=46^{\circ}37'$), м. Барнаула ($\varphi=53^{\circ}20'$) м. Якутська ($\varphi=62^{\circ}02'$).

1-78*. Визначте північну географічну широту, на якій 6 липня буває найтриваліша перерва біла ніч.

Примітка. В таку ніч Сонце в нижній кульмінації опускається під місцевий горизонт на 7° .

1-79. Чим пояснити, що в одні дати Місяць кульмінує порівняно низько над горизонтом, а в інші дні року, — навпаки, високо «пливе» на південному небі.

1-80. Беручи до уваги, що орбіта Місяця нахилена до площини екліптики під кутом $5^{\circ}09'$, знайдіть максимально можливу висоту Місяця над горизонтом міст Біла Церква ($\varphi=49^{\circ}47'$) та Шемаха ($\varphi=40^{\circ}38'$).

1-81. Скориставшись графіком рівняння часу, який показано на мал. 8, та формулою (1.10), знайдіть, чому дорівнює в місці спостереження: а) середній час (T_m) о 10^h30^m справжнього сонячного часу 14 серпня і 12 листопада; б) справжній сонячний час ($T_{\odot}$) о 18^h50^m середнього часу 15 лютого і 8 вересня.

1-82. 1 жовтня, коли на вивіреному сонячному годиннику було 15^h00^m , годинник, що йде за середнім часом, показував 14^h46^m . Визначте поправку годинника, що йде за середнім часом, якщо в цей день середнє сонце кульмінує пізніше від справжнього Сонця на 10^m .

1-83. Знайдіть географічну довготу м. Мценська, якщо в момент подачі радіосигналу 10 годин *всесвітнього часу* місцевий середній час Мценська дорівнює $12^h26^m18^s$.

1-84. В момент прийому радіосигналу 2 години *всесвітнього часу* годинник, що йде за місцевим середнім часом м. Ялти, показував $4^h50^m14^s$. Визначте географічну довготу Ялти в кутовій мірі, якщо поправка годинника $u = -13^m26^s$.

1-85. Географічна довгота м. Києва $\lambda_K = 2^h02^m0$, а м. Гавани $\lambda_T = -5^h29^m5$. Визначте різницю між середнім часом першого і середнім часом другого міста. На скільки годин і хвилин середній час у кожному з цих міст відрізняється від *всесвітнього часу*?

1-86. 12 серпня штурман корабля виміряв секстантом полуденну висоту Сонця, яка виявилася рівною $87^{\circ}15'5$ на південь від зеніту. В цей самий момент корабельний хронометр, що йде за *всесвітнім часом*, показував $7^h51^m48^s$. Визначте географічні координати корабля. Інші необхідні для цього дані візьміть з астрономічного календаря.

1-87. Чому дорівнює місцевий середній час на Ташкентській астрономічній обсерваторії АН УзРСР ($\lambda_T = 69^{\circ}15'$) та на АО Львівського університету ($\lambda_L = 24^{\circ}00'$) в момент середнього полудня на Головній АО АН СРСР (Пулково, $\lambda_P = 2^h01^m$).

1-88. Знайдіть різницю між поясним і середнім часом у містах: Делі (V пояс, $\lambda = 5^h 08^m 8^s$), Мехіко (XVIII пояс, $\lambda = -6^h 36^m 5^s$), Будапешт (I пояс, $\lambda = 0^h 53^m 7^s$). Який час, із зазначених, випереджає в кожному місті?

1-89. Визначте, коли за місцевим середнім, поясним і декретним часом настає момент справжнього полудня 16 січня в м. Кременчуці (II пояс, $\lambda = 2^h 13^m 6^s$).

1-90. Знайдіть місцевий середній, поясний і декретний час у м. Сумах (II пояс, $\lambda = 34^\circ 48'$) на момент, коли взимку міський годинник м. Магадана (X пояс) показуватиме $9^h 30^m 0^s$ вечора.

1-91. Монтевідео лежить у XXI годинному поясі. Чому дорівнює поясний час цього міста в момент, коли Кремлівські куранти б'ють улітку 6 годин за московським часом?

1-92. Визначте місцевий середній, поясний і літній час у м. Красноярську (VI пояс, $\lambda_{кр} = 6^h 11^m 3^s$) на момент, коли 30 липня сонячний годинник у м. Богуславі ($\lambda_б = 2^h 02^m 1^s$) показуватиме $11^h 45^m 0^s$.

1-93*. Радіостанція експедиції прийняла о $12^h 14^m 10^s$ місцевого середнього часу радіосигнал 12 годин за декретним часом X поясу. Знайдіть за цими даними географічну довготу місцезнаходження та поясний і декретний час експедиції.

1-94*. Лайнер вилетів з Москви в Париж об $11^h 23^m 0^s$ за літнім московським часом і того ж дня приземлився в кінці маршруту о $10^h 30^m 0^s$ за паризьким літнім часом. Визначте тривалість перельоту, взявши до уваги, що Москва лежить у другому, а Париж — у нульовому годинному поясі.

1-95*. Знайдіть географічні координати місця, в якому 20 травня верхня кульмінація Сонця спостерігалась о 15^h за літнім московським часом на висоті $65^\circ 30' 0''$ в бік півдня від зеніту. Потрібні для цього додаткові дані візьміть з астрономічного календаря.

1-96. Поясніть, чому річницю Великої Жовтневої соціалістичної революції ми святкуємо не в якийсь день жовтня, а 7 листопада?

1-97. Одна людина народилася 10 березня 1897 р., друга — 10 березня 1903 р. за старим стилем. З переходом на новий стиль обидві вони вважають, що народилися 23 березня за григоріанським календарем. Хто з них і яку помилку допускає?

1-98. За старим стилем І. Ньютон народився 25 грудня 1642 р., М. В. Ломоносов — 8 листопада 1711 р., а Т. Г. Шевченко — 25 лютого 1814 р. Переведіть ці дати народження на новий стиль літочислення.

1-99. 16 червня 1709 р. за старим стилем військо на чолі з Петром I розгромило під Полтавою шведську армію Карла XII. Яка дата цієї історичної події за григоріанським календарем?

II. БУДОВА СОНЯЧНОЇ СИСТЕМИ

Розв'язування переважної більшості завдань і задач цього розділу потребує розуміння законів небесної механіки, свідомого засвоєння учнями, зокрема, законів Кеплера, рівняння синодичного руху планет, закону всесвітнього тяжіння та співвідношень і наслідків, що з них випливають.

Заслугує на увагу обов'язкове й детальне ознайомлення учнів з властивостями і параметрами еліпса. Це значною мірою сприятиме успішному виконанню багатьох вправ розділу, оскільки їх зміст нерідко стосується еліптичних рухів природних тіл, штучних космічних супутників та автоматичних міжпланетних станцій (АМС).

Розв'язування деяких задач на визначення відстаней до планет, Сонця й Місяця і на знаходження їх лінійних розмірів передбачає застосування поняття горизонтального паралакса світила. Підкреслимо, що горизонтальний паралакс — це кут, під яким з даного світила Сонячної системи видно екваторіальний (а не якийсь інший) радіус Землі, нормальний до променя зору. На XII з'їзді Міжнародного Астрономічного союзу (1964 р.) цей радіус прийнято вважати рівним 6378160 м.

У десятому класі, як відомо, учні вперше так широко ознайомлюються із своєрідними позасистемними одиницями вимірювання відстані, маси і часу та похідними від них одиницями, наприклад, одиницями лінійної, кутової і секторіальної швидкості. Справді, відстань у Сонячній системі найчастіше визначається в астрономічних одиницях¹ (а. о.) і земних радіусах ($R_{\oplus}=1$), маса — в масах Землі ($M_{\oplus}=1$), час — у сидеричних роках² або добах.

У зв'язку з цим варто підготувати і своєчасно запропонувати учням таблицю числових спів-

¹ 1 а. о. відстані — середня відстань Землі від Сонця.

² Сидеричний рік — інтервал часу, за який Земля здійснює один оберт навколо Сонця.

відношень між позасистемними одиницями, які здебільшого застосовуються в астрономії, і одиницями системи СІ. Використання такої довідкової таблиці в оцінках і обчисленнях відповідних параметрів і характеристик помітно зменшує витрати часу на знаходження шуканої відповіді в заданих одиницях вимірювання і, отже, ущільнює навчальний процес.

У задачах і завданнях вихідні кількісні характеристики небесних тіл даються, як правило, з досить високою точністю. Ми уникали значного округлення їх числових значень, щоб сприяти формуванню у читача більш об'єктивного уявлення про величини і просторове розташування сусідніх нам світил.

Однак, виконуючи практичні вправи, такі й подібні їм дані доцільно округлювати. Звичайно, робити це слід обережно, щоб не спотворити кінцевий результат.

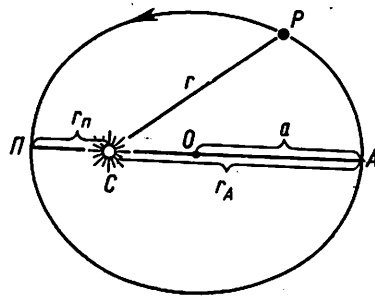
Перш ніж почати розв'язувати задачі цього розділу, рекомендуємо ознайомитися з наведеним нижче навчально-методичним матеріалом.

Рівняння синодичного руху планет має вигляд:

$$\frac{1}{S} = \pm \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{\oplus}} \right), \quad (2.1)$$

де T — сидеричний і S — синодичний періоди обертання планети, $T_{\oplus}$ — сидеричний період обертання Землі навколо Сонця; знак «плюс» перед дужкою відповідає внутрішнім, а знак «мінус» — зовнішнім планетам.

Закони Кеплера. Перший закон Кеплера визначає форму орбіт, що їх описують планети навколо Сонця. Орбіти ці являють собою



Мал. 14. Еліптична орбіта, по якій планета (P) здійснює свій рух навколо Сонця.

еліпси, в суміщеному фокусі яких знаходиться Сонце.

Головними елементами планетної орбіти, що характеризують розмір і форму еліпса, є велика піввісь $a = OA$ (мал. 14) і ексцентриситет $e = OC : OA$, де OC — відстань між центром (O) і одним з фокусів еліпса.

На тому ж малюнку позначено: П — перигелій — найближча точка орбіти до Сонця, А — афелій — найбільш віддалена від Сонця точка орбіти, r_P і r_A — відповідно перигелійна і афелійна відстані.

Враховуючи ці позначення,

$$a = \frac{r_P + r_A}{2}, \quad e = \frac{r_A - r_P}{2a}. \quad (2.2)$$

Другий закон Кеплера стосується швидкостей руху планет: радіус-вектор, що сполучає планету з Сонцем, за рівні проміжки часу описує однакові площі.

Звідси впливає нерівномірність лінійної швидкості еліптичного руху планети. Максимального значення (v_P) вона набуває в перигелії і мінімального (v_A) — в афелії, причому

$$\frac{v_P}{v_A} = \frac{r_A}{r_P}. \quad (2.3)$$

Середня лінійна швидкість руху планети навколо Сонця

$$v_c = \frac{2\pi a}{T}, \quad (2.4)$$

де a — велика піввісь орбіти або середня відстань планети від Сонця, T — її сидеричний період.

Третій закон Кеплера виражає співвідношення між середніми відстанями планет від Сонця і періодами їх сидеричних обертань. Він записується в такій формі:

$$\frac{T^2}{T_1^2} = \frac{a^3}{a_1^3},$$

$$\text{або } \frac{T^2}{a^3} = \frac{T_1^2}{a_1^3} = \text{const}, \quad (2.5)$$

тобто відношення квадрата сидеричного періоду тієї чи іншої планети до куба великої півосі її орбіти є величина стала.

Якщо тут періоди обертання вимірювати в земних сидеричних роках, а великі півосі орбіт — в астрономічних одиницях, то для довільної планети

$$T^2 = a^3. \quad (2.6)$$

Уточнений Ньютоном третій закон Кеплера, що використовується для визначення мас небесних тіл, має вигляд:

$$\frac{T^2(M+m)}{a^3} = \frac{4\pi^2}{G}, \quad (2.7)$$

де M — маса центрального тіла, m — маса тіла, що обертається навколо M із сидеричним періодом T на середній відстані a , G — гравітаційна стала ($6,67 \cdot 10^{-11}$ одиниць СІ).

Позначимо параметри будь-якої іншої системи двох зв'язаних тяжінням тіл через T_1, M_1, m_1 і a_1 , тоді згідно з формулою (2.7),

$$\frac{T^2(M+m)}{T_1^2(M_1+m_1)} = \frac{a^3}{a_1^3}. \quad (2.8)$$

Закон всесвітнього тяжіння

$$F = G \frac{Mm}{r^2}, \quad (2.9)$$

де M і m — маси тіл, які взаємно притягаються із силою F , r — відстань між ними, G — гравітаційна стала.

Припливоутворююче прискорення відносно центра Землі, створюване тяжінням небесного тіла (Місяця, Сонця) в точках найближчої і найдальшої від цього тіла зонах земної поверхні,

$$J = 2G \frac{MR_{\oplus}}{r^3}, \quad (2.10)$$

де M — маса даного небесного тіла, r — відстань між центрами M і Землі, G — гравітаційна стала, $R_{\oplus}$ — радіус земної кулі. Маса і густина небесного тіла (Землі, Місяця й т. ін.) відповідно:

$$M = \frac{gR^2}{G}, \quad (2.11)$$

$$\delta = \frac{3M}{4\pi R^3} = \frac{3g}{4\pi GR}, \quad (2.12)$$

де g і R — прискорення сили тяжіння на поверхні і радіус цього тіла, G — гравітаційна стала.

Відстань до тіл (світил) Сонячної системи від Землі

$$r = \frac{206265''}{\pi} R_{\oplus}, \quad (2.13)$$

де π — горизонтальний паралакс світила в секундах дуги, $R_{\oplus} = 6378,16$ км — екваторіальний радіус Землі, 206265 — кількість кутових секунд в одному радіані.

Лінійний радіус світила Сонячної системи

$$R = \frac{\rho}{\pi} R_{\oplus}, \quad (2.14)$$

де π і ρ — відповідно горизонтальний паралакс і кутовий радіус світила в секундах дуги.

Інші формули, рівняння і співвідношення подані далі, в умовах деяких завдань і задач.

Приклад 1. Мала планета Веста обертається навколо Сонця по орбіті з великою піввіссю $a = 2,362$ а.о. і ексцентриситетом $e = 0,089$. Визначити сидеричний і синодичний періоди обертання Вести, її середню швидкість орбітального руху, перигелійну і афелійну відстані та відношення швидкостей в перигелії і афелії орбіти.

Розв'язання. Знаходимо, беручи до уваги формулу (2.6) та рівняння (2.1) для зовнішніх планет, сидеричний і синодичний періоди обертання Вести: $T = a \sqrt{a} = 2,362 \sqrt{2,362} = 3,63$ року;

$$S = \frac{T_{\oplus} \cdot T}{T - T_{\oplus}} = \frac{1 \cdot 3,63}{3,63 - 1} = 1,38 \text{ року.}$$

Обчислюємо за формулою (2.4) середню лінійну швидкість, враховуючи при цьому, що

$$1 \frac{\text{а. о.}}{\text{рік}} = 4,74 \frac{\text{км}}{\text{с}},$$

$$v_c = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 2,362}{3,63} \left(\frac{\text{а. о.}}{\text{рік}} \right) = 19,37 \frac{\text{км}}{\text{с}}.$$

Визначаємо за рівняннями (2.15) перигелійну і афелійну відстані: $r_n = a(1 - e) = 2,362 \times (1 - 0,089) = 2,152$ а. о.; $r_A = a(1 + e) = 2,362 \times (1 + 0,089) = 2,572$ а. о.

Згідно з формулою (2.3) відношення швидкостей Вести в перигелії і афелії орбіти

$$\frac{v_p}{v_A} = \frac{r_A}{r_n} = \frac{2,572 \text{ а. о.}}{2,152 \text{ а. о.}} \approx 1,2.$$

Приклад 2. Горизонтальний паралакс Місяця $\pi = 57'2''67$, а його середній видимий кутовий радіус $\rho = 15'32''7$. Відношення мас Землі і Місяця $M_\oplus : M_\circ = 81,30$, $M_\oplus = 5,98 \times 10^{24}$ кг, гравітаційна стала $G = 6,67 \cdot 10^{-11}$ од. СІ, $R_\oplus = 6370 \cdot 10^3$ м.

Визначити за цими даними середню відстань між Землею і Місяцем, лінійний радіус і середню густину Місяця, а також силу, що утримує Місяць на орбіті, та величину і напрям припливоутворюючого прискорення на земній кулі під дією притягання Місяця.

Розв'язання. Знаходимо за формулою (2.13) середню віддаль Місяця від Землі

$$r = \frac{206265'' \cdot R_\oplus}{\pi} = \frac{206265 \cdot 6378,16 \text{ км}}{57 \cdot 60 + 2,67} = 384375,7 \text{ км};$$

$$r \approx 384380 \text{ км.}$$

Обчислюємо лінійний радіус і густину Місяця за формулами (2.14) і (2.12):

$$R_\circ = \frac{\rho_\circ R_\oplus}{\pi_\circ} = \frac{(15 \cdot 60 + 32,7) \cdot 6378,16 \text{ км}}{57 \cdot 60 + 2,67} = 1738,09 \text{ км, } R_\circ = 1738 \text{ км;}$$

$$\delta_\circ = \frac{3M}{4\pi R_\circ^3} = \frac{3M_\oplus}{4\pi R_\circ^3} = \frac{3 \cdot 5,98 \cdot 10^{24} \text{ кг}}{4 \cdot 3,14 \cdot 1738^3 \cdot 10^9 \text{ м}^3} = 3346,5 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}; \delta_\circ \approx 3,35 \text{ г/см}^3.$$

Визначаємо силу, що утримує Місяць на орбіті, та припливоутворююче прискорення на Землі під дією притягання Місяця відповідно за законом всесвітнього тяжіння і формулою (2.10):

$$F = G \frac{M_\oplus M_\circ}{r^2} = G \frac{M_\oplus^2}{r^2 \cdot 81,3} = \frac{6,67 \cdot 10^{-11} \cdot 5,98^2 \cdot 10^{48}}{38438^2 \cdot 10^8 \cdot 81,3} \times$$

$$\times (H) = 5,166 \cdot 10^{15} \text{ Н, } F \approx 5,2 \cdot 10^{15} \text{ Н; } j = \frac{2GM_\oplus R_\oplus}{r^3} =$$

$$= \frac{2GM_\oplus R_\oplus}{r^3 \cdot 81,3} = \frac{2 \cdot 6,67 \cdot 10^{-11} \cdot 5,98 \cdot 10^{24} \cdot 6370 \cdot 10^3}{38438^3 \cdot 10^{12} \cdot 81,3} \approx$$

$$\approx 1,1 \cdot 10^{-6} \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \text{ (напрявлене } j \text{ від центра Землі).}$$

* * *

2-1. У чому полягає принципова відмінність між геліоцентричною системою світу М. Коперника і геоцентричною системою К. Птолемея?

2-2. Якими справжніми рухами Землі й планет Коперник пояснив схід і захід світил, видиме переміщення Сонця по екліптиці та петлеподібні рухи проекцій планет на небо?

2-3. Що вам відомо про наукові праці послідовників вчення Коперника, передових учених свого часу Дж. Бруно, Г. Галілея і М. В. Ломоносова?

2-4. Чим істотно відрізняються сучасні уявлення про будову Сонячної системи від уявлень Коперника?

2-5. Назвіть великі планети в порядку їх віддалення від Сонця. За якою ознакою вони поділяються на внутрішні і зовнішні?

2-6. Що таке конфігурація планети? Зробіть схематичний малюнок, позначивши на ньому положення планет відносно Землі і Сонця: Меркурія — у нижньому сполученні,

Венери — в західній максимальній елонгації, Марса — у протистоянні, Юпітера — у сполученні, Сатурна — у східній квадратурі.

2-7. Випишіть з астрономічного календаря поточного року дати і час, в які Меркурій буває у нижньому сполученні, Венера — у найбільшій східній елонгації, Сатурн — в протистоянні, Нептун — у сполученні. Чи може Марс щороку бути в протистоянні?

2-8. Назвіть конфігурації, в яких внутрішні і зовнішні планети бувають найменше віддалені від Землі.

2-9. В яких конфігураціях може знаходитись радянська штучна планета № 1, запущена в січні 1959 року, якщо її період обертання навколо Сонця дорівнює 450 діб?

2-10. Поясніть, чому Меркурій можна спостерігати лише поблизу епох його найбільшого кутового віддалення від Сонця, на фоні ранкової чи вечірньої зорі і порівняно невисоко над горизонтом.

2-11. Планета спостерігається з Землі на кутовому віддаленні від Сонця значно більшому за 50° . Внутрішньою чи зовнішньою є ця планета?

2-12. Чому не можна бачити Венеру вечорами у східній, а на світанку — в західній частині небозводу?

2-13. Для яких планет, щодо розташування їх орбіт відносно земної орбіти, сидеричний період є більшим за синодичний і, навпаки, — меншим від нього?

2-14*. Венера здійснює один оберт навколо власної осі за 243,16 доби (земних) у зворотному до орбітального руху напрямі, а період її обертання навколо Сонця становить 224,70 до-

би. Обчисліть тривалість сонячної доби на Венері.

2-15. Сформулюйте закони Кеплера. В чому полягає уточнення третього закону Кеплера, зроблене Ньютоном?

2-16. Користуючись рівняннями (2.2), доведіть, що

$$r_{\text{п}} = a(1 - e), \quad r_{\text{а}} = a(1 + e). \quad (2.15)$$

2-17. Визначте мінімальну і максимальну відстані Меркурія від Сонця, якщо велика піввісь його орбіти $a = 0,387$ а. о., ексцентриситет $e = 0,2056$.

2-18. Щорічно на початку січня Земля буває на найменшій відстані від Сонця, яка дорівнює 147,1 млн. км. Обчисліть ексцентриситет земної орбіти і найбільшу відстань між Землею і Сонцем.

2-19. Покажіть, що відношення лінійних швидкостей планети в перигелії і в афелії орбіти

$$\frac{v_{\text{п}}}{v_{\text{а}}} = \frac{1 + e}{1 - e}. \quad (2.16)$$

2-20. Найбільша відстань Марса від Сонця $r_{\text{а}} = 1,666$ а. о., а найменша — $r_{\text{п}} = 1,382$ а. о. Визначте ексцентриситет орбіти Марса і відношення його лінійних швидкостей в перигелії і афелії.

2-21. Знайдіть середню швидкість орбітального руху (в км/с) Сатурна і земної кулі навколо Сонця. Потрібні вихідні числові дані візьміть в таблиці III. Зазначимо, що

$$1 \frac{\text{а. о.}}{\text{рік}} = 4,74 \frac{\text{км}}{\text{с}}.$$

2-22. Беручи до уваги дані таблиці III, обчисліть середні лінійні швидкості обертання навколо Сонця планет: Меркурія, Марса і

Нептуна. За здобутими результатами та відповіддю до задачі 2-21 побудуйте графік залежності $v_c = f(a)$ і коротко висловіть його суть.

2-23. Визначте площі, що їх описують за одиницю часу (в $\text{км}^2/\text{с}$) радіуси-вектори Венери, Юпітера й Урана, скориставшись при цьому даними таблиці IV. Зробіть висновок щодо зміни величини вказаних площ із зростанням середньої відстані планет від Сонця. Вважайте, що орбіти планет колові і що $(1 \text{ а. о.})^2 = 7,09 \cdot 10^8 \text{ км}^2/\text{с}$.

2-24*. Доведіть, виходячи із співвідношення (2.16), що перигелійна й афелійна швидкості руху планети є:

$$v_p = v_c \sqrt{\frac{1+e}{1-e}}, v_A = v_c \sqrt{\frac{1-e}{1+e}}, \quad (2.17)$$

де v_c — середня лінійна швидкість цієї планети.

2-25. Середня відстань Венери від Сонця становить 0,723 а. о., а її відстань в афелії $r_A = 0,728$ а. о. Знайдіть видиме з Землі (при $\alpha_\oplus = 1$ а. о.) найбільше кутове віддалення цієї планети від Сонця та ексцентриситет орбіти, перигелійну й афелійну швидкості Венери.

2-26. Комета Чурюмова—Герасименко (1969 h) рухається навколо Сонця по орбіті з великою піввіссю $a = 1,285$ а. о. і ексцентриситетом $e = 0,633$. Визначте сидеричний період обертання комети та її перигелійну й афелійну відстані.

2-27. Сидеричний період комети Галлея близько 76,03 років, ексцентриситет орбіти $e = 0,967$. Останній раз у найближчому околі Сонця вона спостерігалася у квітні 1910 р.

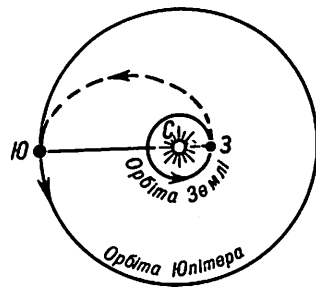
Обчисліть велику піввісь орбіти, найбільшу і найменшу відстані від Сонця і відношення орбітальних швидкостей даної комети в перигелії і в афелії. Коли слід чекати її появи на нашому небі наступного разу?

2-28. Радянські АМС «Венера-9» і «Венера-10», які стали першими штучними супутниками Венери, на початку свого існування оберталися по орбітах так, що їхні мінімальні відстані від поверхні планети становили відповідно 1300 км і 1400 км, а максимальні — 112 000 км і 114 000 км. Середній радіус Венери $R = 6\,051$ км.

Визначте велику піввісь і ексцентриситет орбіти однієї і другої АМС, а також сидеричний період «Венери-10», якщо період орбітального руху «Венери-9» близько 48 годин.

2-29. Політ космічного автомата (КА) з Землі до Юпітера відбувається по напівеліптичній траєкторії, що становить половину міжпланетної орбіти КА (мал. 15). Орбіти Землі і Юпітера вважатимемо коловими, а відстані їх від Сонця відповідно рівними 1 а. о. і 5,2 а. о. Знайдіть велику піввісь і ексцентриситет зазначеної орбіти КА та час його польоту до Юпітера.

2-30. Штучний супутник Землі (ШСЗ) протягом кількох діб перебуває в зеніті відносно



Мал. 15. Напівеліптична траєкторія польоту КА з Землі до Юпітера.

спостерігача, що знаходиться на земному екваторі.

Зробіть схему-малюнок, що відповідає цьому випадку, та визначте висоту (H) знаходження ШСЗ над землею поверхнею, скориставшись відомою формулою:

$$T = 2\pi a \sqrt{\frac{a}{GM_{\oplus}}} \quad (2.18)$$

де $a = R_{\oplus} + H$, $GM_{\oplus} = 398603 \text{ км}^3 \cdot \text{с}^{-2}$ — геоцентрична стала тяжіння.

Нагадаємо, що екваторіальний радіус Землі $R_{\oplus} = 6378,16 \text{ км}$, період її обертання навколо власної осі $23^{\text{h}}56^{\text{m}}04^{\text{s}}$ середніх.

2-31. Коли супутники «Космос-80» і «Космос-125» вийшли на свої колові орбіти, вони оберталися відповідно на віддальх 1500 км і 250 км від поверхні Землі. Визначте, у скільки разів орбітальна швидкість одного супутника більша від швидкості другого.

2-32. Визначте велику піввісь орбіти малої планети Владілені, взявши до уваги, що її протистояння повторюються через кожні 511 діб.

2-33. За останніми визначеннями параметрів еліптичного руху Ікара навколо Сонця його сидеричний період $T = 1,12$ року, ексцентриситет орбіти $e = 0,827$. Обчисліть відстань і орбітальну швидкість цієї малої планети у найближчому до Сонця положенні та її синодичний період обертання.

2-34. Деймос обертається навколо Марса з сидеричним періодом близько $1,26$ доби на середній відстані $23,5 \cdot 10^3 \text{ км}$, а супутник деякої планети здійснює повний оберт за 79 діб 8 годин по орбіті, велика піввісь якої

дорівнює $3,57 \cdot 10^6 \text{ км}$. Знайдіть відношення маси даної планети до маси Марса.

2-35. Велика піввісь орбіти супутника деякої планети становить $20,7 \cdot 10^6 \text{ км}$, а сидеричний період його обертання $T = 631,0$ діб. Місяць рухається навколо Землі на середній відстані $3,844 \cdot 10^5 \text{ км}$ і здійснює один оберт за $27,32$ доби.

Обчисліть: а) масу даної планети у масах Землі, б) середню швидкість орбітального руху Місяця.

2-36. З квітня 1966 р. було виведено на орбіту перший радянський супутник Місяця з такими початковими параметрами: період обертання $2^{\text{h}}58^{\text{m}}15^{\text{s}}$, висота периселенію 350 км , висота апоселенію 1000 км . Сталу тяжіння вважати відомою.

Визначте за цими даними масу (в кг) Місяця і результат порівняйте з її табличним значенням, поясніть розбіжність.

2-37. Обчисліть силу, яка діє з боку Сонця на Землю і утримує її на орбіті. Потрібні для цього дані візьміть з таблиці I.

2-38. Як відомо, тіло масою $m = 1 \text{ кг}$, що знаходиться на земній поверхні, притягується Землею з силою близько $9,8 \text{ Н}$. Поклавши, що радіус Землі дорівнює 6378 км , обчисліть параметр $GM_{\oplus}$ в одиницях $\text{км}^3 \cdot \text{с}^{-2}$.

2-39. У скільки разів менше важить «Луноход» на Місяці, ніж на Землі, якщо маса $M_{\oplus} = 81,30 M_{\text{л}}$, а середній радіус $R_{\oplus} = 3,666 R_{\text{л}}$.

2-40. Визначте відстань від центра земної кулі до точки, в якій рівнодійна сил тяжіння Місяця і Землі дорівнює нулеві. Співвідношення мас Землі і Місяця наведено в задачі 2-39, відстань між ними 384400 км .

2-41. Знайдіть величину і напрям рівнодійної сили, що діє на Марс внаслідок притягання його Землею і Юпітером у момент одночасного протистояння Марса і Юпітера. Орбіти зазначених планет вважати коловими і розташованими в площині екліптики. Інші дані взяти з таблиці III.

2-42. Визначте прискорення, якого надає (в середньому) Сонце тілам, що знаходяться на Землі. Маса Сонця і відстань до нього вважати відомими.

2-43. У скільки разів зміниться період коливання маятника на Марсі порівняно з його періодом на Землі, якщо маса і радіус Марса відповідно дорівнюють: $M = 0,107 M_{\oplus}$, $R = 0,53 R_{\oplus}$.

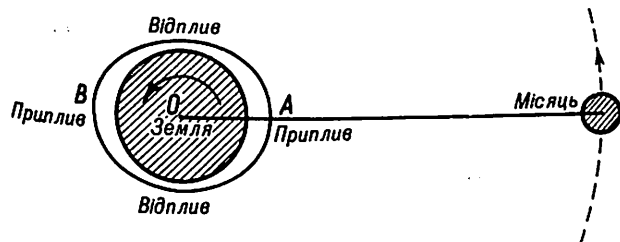
2-44*. Доведіть, що число n , в яке зменшується прискорення земного тяжіння і відповідна йому висота H (в $R_{\oplus}$ — радіусах Землі) над поверхнею земної кулі, пов'язані співвідношенням

$$H = R_{\oplus}(\sqrt{n} - 1). \quad (2.19)$$

2-45. Користуючись формулою (2.19), знайдіть висоти над Землею (у радіусах Землі), на яких прискорення сили тяжіння відповідно в два, чотири, дев'ять і шістнадцять разів менше від його значення біля поверхні Землі ($g_{\oplus} = 9,8 \text{ м/с}^2$); побудуйте графік залежності $g = f(H)$ і висловіть його суть.

2-46. Що таке збурення в русі планет і супутників? Чим вони зумовлені?

2-47. Поясніть причину виникнення припливу в околі точки B водної оболонки Землі (мал. 16). Зобразіть взаємні розташування Сонця, Землі і Місяця, при яких у місцях



Мал. 16. Утворення припливів і відпливів на Землі під дією Місяця.

В і А світового океану висота припливів найбільша.

2-48. Обчисліть значення припливного прискорення в точці А (див. мал. 16) внаслідок притягання Сонцем; результат зіставте з числовим значенням прискорення сили тяжіння на поверхні Землі ($9,8 \text{ м/с}^2$). Маса Сонця і відстань до нього вважати відомими.

2-49. Знайдіть відношення припливних сил, що діють на одиничну масу біля земної поверхні з боку Місяця і з боку Сонця, за такими даними: маса $M_{\odot} = 332958 M_{\oplus}$, маса $M_{\text{Міс}} = 0,0123 M_{\oplus}$, а відстані до Сонця і Місяця покласти відповідно рівними $23481,4 R_{\oplus}$ і $60,3 R_{\oplus}$.

2-50. Чим пояснюється поступова зміна екстремальної висоти припливів у даному місці Землі протягом сидеричного місяця? Визначте, у скільки разів зростає приливоутворююча сила Місяця за час його руху від апогею до перигею власної орбіти, якщо фактичні середні мінімальна і максимальна відстані Місяця від Землі відповідно дорівнюють 363450 км і 405365 км .

2-51. З'ясуйте причини, що зумовлюють в одному й тому ж місці на Землі: а) більш тривалий інтервал часу між послідовними припливом і відпливом, ніж чверть доби; б) запізнення моменту настання повного припливу відносно моменту проходження Місяця через площину меридіана цього місця.

2-52. Стиск Землі $\varepsilon = 1 : 298,25$, а її екваторіальний радіус $R_{\text{е}} = 6378160$ м. Обчисліть полярний радіус Землі.

2-53. Внаслідок швидкого власного обертання Юпітер має значну сплюснутість біля полюсів. Визначте, скориставшись кольоровим мал. 1, величину стиску Юпітера з точністю до другого знака після коми.

2-54. Полярний діаметр Сатурна близько 108000 км, а його стиснення $\varepsilon = 0,098$. Чому дорівнює екваторіальний радіус Сатурна?

2-55. Міста Єреван і Волгоград лежать на одному й тому ж меридіані, а їхні географічні широти відповідно дорівнюють $40^{\circ}11'$ і $48^{\circ}12'$. Обчисліть відстань по меридіану між цими містами.

2-56. Географічна паралель, на якій лежать міста Вітебськ і Челябінськ, має широту $\varphi = 55^{\circ}10'$. Географічна довгота Вітебська дорівнює $2^{\text{го}}0^{\text{хв}}8$, а Челябінська — $4^{\text{го}}5^{\text{хв}}4$. Знайдіть відстань між цими містами уздовж відрізка паралелі, що їх сполучає.

2-57*. При вимірюванні методом триангуляції дуги паризького меридіана в лінійних одиницях було, зокрема, встановлено, що між двома пунктами, розташованими на геоширотах $\varphi_1 = 48^{\circ}50'49,37$ і $\varphi_2 = 51^{\circ}02'08,50$, відстань по меридіану дорівнює 243443,23 м.

Визначте за цими даними: а) середню

довжину дуги меридіана, яка відповідає одному градусу на вказаному інтервалі широт; б) радіус кривизни земної поверхні для широти 50° .

2-58. Визначте масу і середню густину планети за її радіусом ($R = 2437$ км) і прискоренням сили тяжіння біля поверхні ($g = 372,6$ см/с²).

2-59. Знайдіть масу і середню густину небесного тіла з радіусом 6400 км, якщо елементи руху його супутника такі: період обертання — 90 хв, висота найближчої і найдалшої точок орбіти над поверхнею цього тіла дорівнює відповідно 180 км і 330 км.

2-60. Визначте прискорення сили тяжіння на поверхні Ганімеда, радіус якого становить 0,392 радіуса Землі, а маса — 2,09 маси Місяця. Нагадаємо, що $g_{\text{е}} = 9,81$ м/с², а відношення $M_{\text{е}} : M_{\text{с}} = 81,3$.

2-61. Діаметр малої планети Церери $D = 780$ км, а діаметр земної кулі — 12740 км. Обчисліть прискорення сили тяжіння на Церері, припускаючи, що її середня густина дорівнює половині середньої густини Землі. Покласти $g_{\text{е}} = 9,8$ м/с².

2-62. Наведіть докази обертання Землі навколо власної осі та орбітального руху її навколо Сонця.

2-63. Земля, як відомо, здійснює один оберт навколо власної осі протягом $23^{\text{го}}56^{\text{хв}}04^{\text{с}}$ середніх.

Визначте кутову швидкість обертання земної кулі в градусах за годину до другого десяткового знака.

2-64. Доведіть, що внаслідок добового обертання Землі лінійна швидкість будь-якого

пункту земної поверхні прямо пропорційна косинусу його географічної широти, тобто

$$v_\varphi = \frac{2\pi R_\oplus}{\tau_\oplus} \cos \varphi, \quad (2.20)$$

2-65. Обчисліть за формулою (2.23) де $R_{\oplus}$ і $\tau_{\oplus}$ — радіус і період власного обертання Землі. Форму Землі вважати кулястою.

2-65. Обчисліть за формулою (2.20) лінійні швидкості руху, яких зазнають через власне обертання Землі пункти, що лежать на земному екваторі, тропіку і полярному колі.

2-66. Швидкість видимого повороту площини коливання маятника (зі сходу на захід) навколо вертикалі, що проходить через його точку підвісу, визначається формулою

$$\omega = \omega_{\oplus} \sin \varphi, \quad (2.21)$$

де $\omega_{\oplus}$ — кутова швидкість власного обертання Землі, φ — географічна широта місця спостереження.

2-63. Знайдіть, враховуючи відповідь до задачі 2-63, на який кут за годину повертається відносно навколишніх нерухомих предметів площина гойдання маятників, встановлених у приміщенні Ісаакіївського собору ($\varphi = 59^\circ 56'$) і в паризькому Пантеоні ($\varphi = 48^\circ 50'$).

2-67. В одне з протистоянь Марса горизонтальний паралакс його становив $23''$. Знайдіть відстань Марса від Землі (в км) у цей час.

2-68. Обчисліть середнє значення горизонтального паралакса Сонця в секундах дуги, знаючи екваторіальний радіус земної кулі і середню відстань Землі від Сонця.

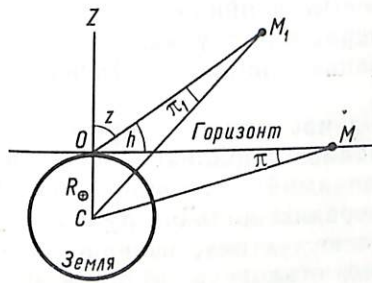
2-69. Визначте середню відстань між Землею і Місяцем в екваторіальних радіусах Землі, якщо середній горизонтальний паралакс Місяця $\pi = 57'2''67$.

2-70. В момент проходження Місяцем апогею орбіти його відстань від Землі становить (при незбуреному русі) 405 500 км. Чому дорівнює горизонтальний паралакс Місяця в апогеї?

2-71. На кольоровому мал. 2 зафіксовано проходження Меркурія по диску Сонця. Визначте відстань Меркурія від Землі і його горизонтальний паралакс у зазначену дату. Потрібні для цього додаткові дані візьміть з таблиці III.

2-72. Внаслідок змін конфігурації Венери горизонтальний паралакс цієї планети коливається від $5''104$ до $31''748$. Знайдіть відстань Венери від Землі в моменти її нижнього та верхнього сполучень.

2-73. Доведіть, використовуючи мал. 17, що величина паралакса (π) світила прямо про-



Мал. 17. До розв'язання задачі 2-73.

порційна синусові його зенітної відстані (z), тобто

$$\pi_1 = \pi \sin z, \quad (2.22)$$

де π — горизонтальний паралакс світила. Обчисліть значення паралакса Місяця в момент знаходження його на висоті 60° ; горизонтальний паралакс Місяця вважати рівним $57',05$.

2-74. Кутовий діаметр Сонця, видимий з відстані в 1 а. о., становить $\approx 32'$. Чому дорівнюватиме цей діаметр, коли спостерігати з середньої відстані між Сонцем і Нептуном?

2-75. У разі, коли горизонтальний паралакс планети близько $13'',6$, радіус її видно під кутом $7'',2$. Знайдіть (з точністю до другого десяткового знака) лінійний радіус планети в радіусах Землі.

2-76. Горизонтальний паралакс Сонця $\pi_\odot \approx 8'',8$, а відношення спостережуваних кутових діаметрів Сонця і Венери при її видимому проходженні по сонячному диску становить $31,9$. Обчисліть лінійний радіус Сонця у радіусах Венери, якщо у вказаній конфігурації горизонтальний паралакс Венери дорівнює $31'',75$.

2-77. Під час одного з протистоянь Урана горизонтальний паралакс його дорівнював $0'',48$ і видимий кутовий діаметр — $3'',70$. Визначте середній лінійний радіус цієї планети та її середню густину, взявши до уваги, що маса Урана становить $14,59$ земних мас, а середня густина Землі $\delta_\oplus = 5,52 \text{ г/см}^3$.

III. ФІЗИЧНА ПРИРОДА ТІЛ СОНЯЧНОЇ СИСТЕМИ

Вміщені в цьому розділі завдання, задачі і запитання слід розглядати в єдиному зв'язку зі змістом попереднього розділу, оскільки вони стосуються об'єктів того самого порівняно близького до нас космічного простору.

Розв'язуючи практичні вправи, учні глибше ознайомляться з методами і сучасними засобами астрономічних досліджень, навчатимуться інтерпретувати відповідний матеріал, здобутий із спостережень, зокрема за допомогою космічних автоматів.

Під час вивчення фізичної природи тіл Сонячної системи, як і в наступних розділах посібника, приділяється увага методу спектрального аналізу. Робота з фотографіями спектра будь-якого джерела випромінювання потребує уважності і терпеливості, чітких уявлень про дисперсію спектрограми світила, спектр порівняння і послідовності знаходження довжини хвилі шуканої лінії спектра, а також розуміння умов виникнення спектральних ліній поглинання і причин різноманітності їх зовнішніх ознак.

У тексті чимало завдань, виконання яких ґрунтується на застосуванні понять і законів оптики, молекулярної фізики, електромагнетизму тощо. Тому істотне значення має використання знань учнів з фізики, математики, хімії, географії та своєчасне узгодження строків вивчення певних програмних питань курсу фізики і вивчення змісту цього розділу астрономії.

Такий тісний контакт суміжних навчальних дисциплін позитивно впливає на підвищення ефективності занять з астрономії і поглиблення багатьох понять фізики, сприяє піднесенню рівня астрофізичної підготовки учнів.

Як неважко помітити, в розділі більше задач якісних, ніж розрахункових. Проте цієї невідповідності за бажанням учителя легко уникнути. Адже кожна з поданих тут розрахункових задач, що стосується даного об'єкта, можна використати для будь-якого іншого, схожого на нього об'єкта, замінивши одні числові значення величин тотожними їм в умові.

Нижче наведено формули і рівняння, необхідність використання яких визначається змістом практичної частини розділу.

Променева швидкість руху світила відносно спостерігача, згідно з принципом Доплера,

$$v_r = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} \cdot c, \quad (3.1)$$

де λ і $\Delta\lambda$ — довжина хвилі певної лінії та її доплерівське зміщення в спектрі світила, c — швидкість світла у вакуумі; від'ємне значення v_r відповідає зближенню світила і спостерігача.

Доплерівське зміщення, що входить у формулу (3.1),

$$\Delta\lambda = \eta \cdot \Delta s, \quad (3.1a)$$

де η — дисперсія ділянки спектрограми світила, Δs — зсув спектральної лінії, обраної на цій ділянці, відносно її положення в спектрі порівняння.

Кутова роздільна здатність радіотелескопа (в мінутах дуги)

$$\rho = 4200' (\lambda : D), \quad (3.2)$$

де λ і D — робоча довжина хвилі і діаметр параболічної антени радіотелескопа.

Критична, або параболічна швидкість біля поверхні небесного тіла

$$v_k = \sqrt{\frac{2GM}{R}}, \quad (3.3)$$

де M і R — маса і радіус небесного тіла, G — гравітаційна стала.

Густина газу, виходячи з рівняння Менделєєва—Клапейрона,

$$\delta = \frac{\mu p}{RT}, \quad (3.4)$$

де μ — молярна маса газу, p і T — його тиск і абсолютна температура, $R = 8,31$ Дж/(моль $\times$ $^\circ\text{K}$) — універсальна газова стала.

Число молекул в одиниці об'єму газу

$$n = \frac{p}{kT}, \quad (3.5)$$

де p і T — тиск і абсолютна температура газу, k — стала Больцмана, що дорівнює $1,38 \times 10^{-23}$ Дж/К.

Середня квадратична швидкість руху молекул (атомів)

$$v_{\text{кв}} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}}, \quad (3.6)$$

де R — універсальна газова стала, μ — молярна маса газу.

Освітленість, створювана небесним джерелом світла на ділянці, що знаходиться від нього на відстані r ,

$$I = \frac{A \cdot \cos \alpha}{r^2}, \quad (3.7)$$

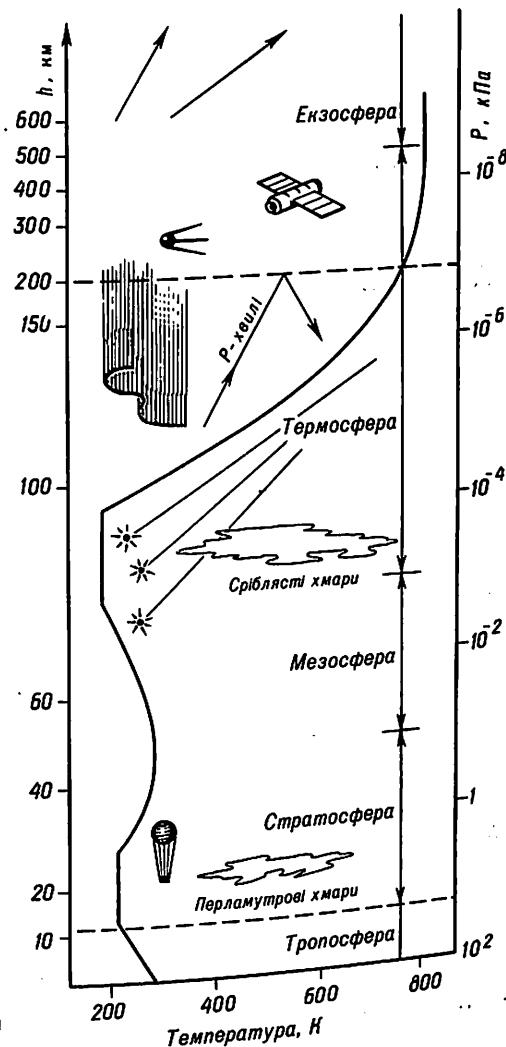
де A — сила світла джерела, α — кут падіння променів на ділянку.

Приклад 1. Лінія водню $H_e/\lambda = 397,01$ нм в спектрограмі світила зсунута на $\Delta s = +0,02$ мм у бік довших довжин хвиль. Знайти доплєрівське зміщення ($\Delta\lambda$) цієї лінії та променеву швидкість світила в момент фотографування спектра, якщо дисперсія спектрограми $\eta = 2,5$ нм/мм.

Розв'язання. Знаходимо зміщення лінії H_e за формулою (3.1а): $\Delta\lambda = +0,02 \cdot 2,5 = +0,05$ нм.

Обчислюємо променеву швидкість світила, скориставшись формулою (3.1): $v_r = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} \cdot c = \frac{+0,05 \cdot 3 \cdot 10^8}{397,01} \approx +37,8$ км/с — з такою швидкістю світило віддаляється від спостерігача.

Приклад 2. Визначити, чому дорівнює густина (δ) і концентрація частинок (n) повітря в термосфері на висоті 300 км, де його тиск у середньому не перевищує $p = 3,4 \cdot 10^{-4}$ Па. Інший потрібний для цього параметр взяти з діаграми фізичних властивостей земної атмосфери, показаної на мал. 18; густину, тиск і температуру повітря біля поверхні Землі вважати нормальними ($\delta_0 = 1,293$ кг/м³, $p_0 = 1,01 \times 10^5$ Па і $T_0 = 273$ К).



Мал. 18.
Діаграма
фізичних
властивостей
земної
атмосфери.

Розв'язання. Хімічний склад атмосферного газу Землі до висоти 300 км істотно не змінюється. Зважаючи на це, запишемо формулу (3.4) для густини повітря за нормальних умов і шуканої густини: $\delta_0 = \frac{\mu p_0}{RT_0}$.

$\delta = \frac{\mu p}{RT}$; звідси $\delta = \delta_0 \frac{p T_0}{p_0 T}$, де T — температура, яку знаходимо за згаданою діаграмою: $T = 800$ К.

Обчислюємо шукані величини відповідно за останнім рівнянням і формулою (3.5): $\delta = \frac{1,293 \cdot 3,4 \cdot 10^{-4} \cdot 273}{1,01 \cdot 10^5 \cdot 800} \approx 1,5 \cdot 10^{-9} \text{ кг/м}^3$, або

$\delta \approx 1,5 \cdot 10^{-12} \text{ г/см}^3$; $n = \frac{p}{kT} = \frac{3,4 \cdot 10^{-4}}{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 800} \approx 3 \cdot 10^{16} \text{ м}^{-3}$, або $n \approx 3 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-3}$.

* * *

3-1. Намалюйте схему призмового спектрографа, з'ясуйте хід променів у ньому і розміщення в спектрі складових випромінювання за довжинами хвиль.

3-2. Назвіть відомі вам види спектрів. Яким станом розжареної речовини відповідає неперервний спектр?

3-3. У чому полягає істотна відмінність між лінійчастими спектрами випромінювання і поглинання? Поясніть умови, за яких утворюється спектр поглинання.

3-4. Охарактеризуйте роль методу спектрального аналізу у вивченні небесних тіл; що ви знаєте про його конкретне застосування в астрономії?

3-5. На кольоровому мал. 3 показано ділянку спектрограми Сонця. Зверніть увагу на

численність у ній ліній поглинання та відмінність в їх інтенсивності і чіткості.

Визначте за допомогою таблиці IV, яким хімічним елементам належать ототожнені лінії даної спектрограми; знайдіть дисперсію спектрограми.

3-6. Сформулюйте принцип Доплера. Виявіть доплерівські зміщення ліній у спектрах першої і другої зорі (див. кольоровий мал. 4) стосовно до тотожних ліній спектра порівняння. Зробіть висновки про напрями рухів цих зір відносно Землі на момент здобуття спектрів.

3-7. У спектрі зорі доплерівське зміщення лінії водню H_β ($\lambda = 486,13 \text{ нм}$) в бік ультрафіолету становить $0,07 \text{ нм}$. Обчисліть променеву швидкість зорі, що відповідає моменту здобуття її спектра.

3-8.* Які фізико-хімічні умови в атмосфері зорі визначають неоднакову інтенсивність ліній її спектра, помітне розширення ліній та наявність у спектрі смуг поглинання?

3-9. Коли сонячне світло проходить через атмосферу Землі, в його спектрі з'являються додаткові темні смуги і лінії, зокрема сильні смуги водяної пари, озону й кисню. Чи можна в такий спосіб визначити: склад газових оболонок інших планет, поглинальні властивості поверхонь несамоосвітлених небесних тіл?

3-10. Що таке позаатмосферні спостереження? Наведіть приклади успішного застосування цього методу в дослідженні Сонячної системи та об'єктів далекого космосу.

3-11. Радіотелескоп в Аресібо (на острові Пуерто-Ріко) має параболічну антену, діаметр

якої $D=300$ м, а діаметр кільцевої антени радянського радіотелескопа РАТАН-600 становить 600 м. Обчисліть кутову роздільність цих радіотелескопів, припускаючи, що λ — робоча довжина хвилі першого з них дорівнює 70 см і другого — 21 см.

3-12. Внаслідок яких процесів і явищ відбувалося формування сучасної газової оболонки Землі?

3-13. Земна атмосфера за висотою поділяється на такі шари: тропосферу, стратосферу, мезосферу, термосферу та екзосферу. Користуючись діаграмою, що показана на мал. 18, визначте, в якому з цих шарів і в межах приблизно яких висот з'являються полярні сніга, метеорні явища, сріблясті хмари?

3-14. Що спричинює вертикально-конвективні течії повітря, вітри в тропосфері?

3-15*. Розглядаючи діаграму, показану на мал. 18, простежте за зміною температури в атмосфері зі збільшенням висоти над поверхнею Землі. Чим пояснюється швидкий спад температури в тропосфері та значне зростання її в термосфері?

3-16. На рівні верхньої межі тропосфери концентрація молекул повітря близько $8 \times 10^{18} \text{ см}^{-3}$. Визначте за числом Лошмідта і за даними з діаграми на мал. 18, у скільки разів тиск атмосферного газу біля поверхні Землі більший за тиск на вказаному рівні тропосфери.

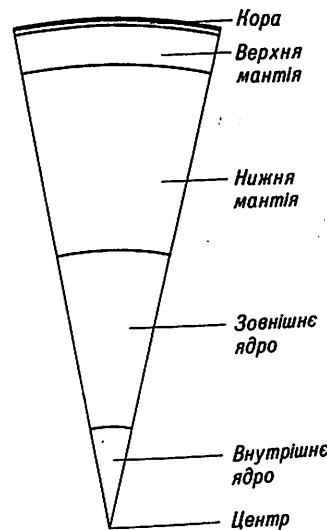
3-17. У мезосфері тиск газу становить у середньому 10,2 Па. Знайдіть число молекул в одиниці об'єму мезосфери, вважаючи відомими дані діаграми (див. мал. 18) і сталу Больцмана.

3-18. На мал. 19 зображено внутрішню будову Землі. Показавши радіус земної кулі рівним 6400 км, визначте товщину мантиї (середня товщина кори 50 км), радіус ядра і внутрішнього ядра Землі. За якими головними фізичними властивостями розмежовують вказані шари планети?

3-19. Що таке радіаційні пояси Землі? Які їх природа і просторове розташування відносно земної поверхні?

3-20. Користуючись наведеними в таблиці 1 даними, порівняйте фізичні характеристики і хімічний склад атмосфер Землі і Меркурія, Венери і Марса, Землі і Юпітера. Атмосфери яких планет найбільш схожі за хімічним складом? Чим пояснюється високе розрідження атмосфери Меркурія і Марса?

3-21. Обчисліть, беручи до уваги дані табл. 1, найбільшу середню квадратичну швидкість руху атомів гелію і водню в атмосфері Меркурія. Чи достатні її значення для поступового розсіювання цих газів у міжпланетний простір? Нагадаємо, що критична швидкість для Меркурія дорівнює 4,3 км/с.



Мал. 19. Схема внутрішньої будови Землі.

Таблиця 1. Параметри атмосфер біля поверхонь планет

Планета	Температура в середніх широтах/ $T_{\max}/T_{\min}$, К	Середній тиск, кПа	Хімічний склад (у дужках — об'ємний процент газу відносно густини атмосфери)
Меркурій	500/110	$< 2 \cdot 10^{-12}$	Ne (≤ 60), He (≤ 20), H ₂ (≤ 18), CO ₂ (≤ 2), Ar (≤ 2)
Венера	735/735	$9 \cdot 10^3$	CO ₂ (95), N ₂ (3—5), H ₂ O ($< 0,1$), Ar (0,01) і т. ін.
Земля	310/240	10^2	N ₂ (78), O ₂ (21), Ar (0,93), H ₂ O (0,1— —1) і т. д.
Марс	270/200	0,6	CO ₂ (95), N ₂ (2—3), Ar (1—2), O ₂ (0,1— —0,4), H ₂ O ($< 0,1$), ...
Юпітер	135*	25	H ₂ (87), He (12,8), CH ₄ (0,07), C ₂ H ₆ (0,04), NH ₃ (0,02), ...

* У Юпітера немає твердої поверхні, а температура 135 К відповідає рівневі його газів з тиском 25 кПа.

3-22. Знайдіть концентрацію молекул атмосферного газу біля поверхні Меркурія, скориставшись даними табл. 1. Порівняйте її числове значення з концентрацією повітря біля поверхні Землі ($2,69 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$).

3-23. Освітленість на Землі під прямим сонячним промінням становить $\approx 10^5$ лк. Обчисліть відповідну освітленість на Меркурії і Марсі, вважаючи відстані їх від Сонця відомими.

3-24. Якою особливістю будови венеріан-

ської атмосфери пояснюється існування високої температури та відсутність її значних коливань протягом доби на Венері?

3-25. Чи можна стверджувати, що на Венері панують ураганні вітри, бувають полярні сніга, метеорні явища та електричні розряди — блискавки? Які є підстави для цього?

3-26. На кольоровому мал. 5 показано ділянку поверхні планети Венера з камінням і дрібнофрагментним реголітом. Які фізичні процеси могли викликати такі розломи й роздріблення поверхневих порід Венери?

3-27*. Що вам відомо про внутрішню будову, рельєфні нерівності й магнітне поле Венери?

3-28. Як відомо, друга космічна швидкість становить 11,2 км/с. Обчисліть, чому дорівнює критична швидкість на поверхні планети, взявши до уваги, що маса даної планети $M = 0,11 M_{\oplus}$, а її радіус $R = 3390$ км.

3-29*. Сидеричний період Марса становить 687 діб (земних), а період власного обертання цієї планети дорівнює $24^{\text{h}}37^{\text{m}}4^{\text{s}}$. Визначте звідси тривалість середньої сонячної доби та зоряного року на Марсі в марсіанських середніх добах.

3-30. Чим пояснюється різке добове коливання температури та зміна пір року на Марсі?

3-31. Екватор Марса нахилений до площини його орбіти під кутом $24^{\circ}80'$. Знайдіть широти, якими визначаються положення кліматичних поясів (жаркого, помірних і холодних) на марсіанській поверхні. Які фізичні фактори й умови на Марсі спричиняють марсіанські пилі-ві бурі?

3-32. За даними табл. 1 для Марса обчисліть середню квадратичну швидкість руху атомів азоту та молекул вуглекислого газу поблизу марсіанської поверхні; знайдіть концентрацію частинки атмосфери біля поверхні цієї планети. Відповідну температуру покласти рівною 235 К.

3-33. Назвіть найбільш поширені форми рельєфу на Марсі. В чому полягають та з яких причин відбуваються зміни вигляду його материкових областей, морів і полярних шапок протягом марсіанського року?

3-34. Посеред зимового сезону на Марсі його північна полярна шапка буває найбільшою і досягає 50° широти планети. Визначте частку марсіанської поверхні, яка при цьому так чи інакше вкривається сніговим шаром. Чи може ця шапка повністю зникнути влітку?

3-35. В яких станах і середовищах існує в сучасну епоху вода на Марсі? Про що свідчать русла річок на його поверхні та відсутність кратерів у деяких марсіанських морях?

3-36*. Що вам відомо про радіоактивність у поверхневому шарі Марса, про дипольне магнітне поле і радіаційний пояс цієї планети?

3-37. Якими фізичними характеристиками планети-гіганти різко відрізняються від планет земної групи? В чому полягає ця відмінність?

3-38. З переходом від Юпітера до інших планет-гігантів Сонячної системи смуга аміаку в їх спектрах значно слабшає до повного зникнення. Чим пояснюється таке явище?

3-39. Які утвори щодо форми, яскравості і забарвлення спостерігаються у зовнішніх шарах атмосфер планет-гігантів? В чому полягає

особливість обертання Юпітера навколо власної осі?

3-40. Період власного обертання Нептуна дорівнює 15^h48^m , а екваторіальної зони Юпітера — 9^h50^m5 . Обчисліть різницю лінійних швидкостей екваторіальних точок Юпітера і Нептуна, якщо відповідні радіуси цих планет становлять близько 71270 км і 25280 км.

3-41. Середній діаметр Юпітера становить 139440 км. Визначте, скориставшись кольоровим мал. 1, лінійний діаметр Червоної Плями та ширину найпомітнішої смуги хмар, паралельної екватору даної планети.

3-42. Що вам відомо про спостережуване в шкільний телескоп кільце Сатурна? З якої причини воно не може бути суцільним?

3-43. Знаючи діаметр Сатурна, визначте з допомогою кольорового мал. 6 ширину (AB) його кільця в діаметрах земної кулі.

3-44. Біля яких планет-гігантів, крім Сатурна, виявлено існування кілець? Що вони собою являють? Чи існує чимсь схоже на них кільце навколо Землі?

3-45*. Юпітер випромінює значно більше теплової енергії, ніж дістає її від Сонця. Які ймовірні внутрішні процеси на Юпітері можна вважати причиною цього?

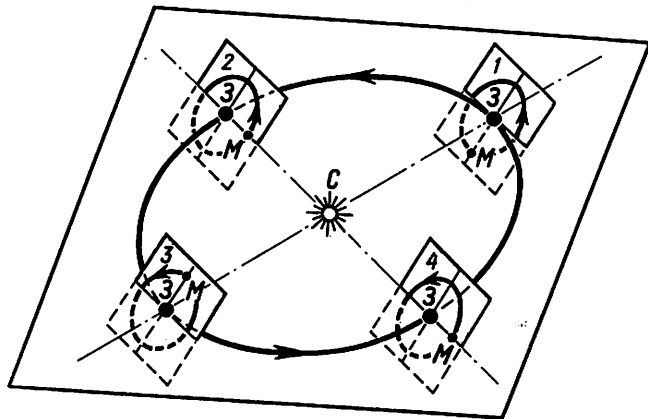
3-46. У чому полягає природа радіовипромінювання Юпітера? Яке ймовірне походження короткочасних періодично повторюваних радіосплесків даної планети?

3-47. Розгляньте з допомогою відповідної моделі зміну пір року на Урані, для якого нахил площини орбіти до екватора становить 98° . Оцініть характер теплового режиму в різних за широтою областях Урана.

3-48. Назвіть основні фази Місяця. З'ясуйте їх походження та послідовність поступового переходу однієї в іншу.

3-49. За видимою формою Місяця можна, як відомо, орієнтуватися на місцевості в нічний час. Визначте, зокрема, в якому напрямі щодо сторін горизонту і зоряного неба видно: а) молодик — вузький серп Місяця опуклістю вправо; б) напівдиск Місяця опуклістю вправо приблизно о 18^h; в) повний Місяць звечора, опівночі та перед сходом Сонця; г) вузький серп Місяця опуклістю вліво.

3-50. Орбіта Місяця нахилена до площини екліптики і перетинається з нею у двох точках, що називаються вузлами місячної орбіти. Поясніть з допомогою мал. 20, в якій конфігурації та відповідній їй фазі Місяця настають: сонячне затемнення, місячне затемнення.



Мал. 20. Розташування орбіти Місяця відносно екліптики.

3-51. Що таке повне, часткове й кільце-подібне затемнення Сонця? З'ясуйте необхідні умови настання кожного з них.

3-52. Експериментальне вивчення теплових властивостей Місяця показало, що під час його затемнення температура ґрунту центральної місяцевої області знижується від 370 до 190 K, а коли Місяць виходить з тіні Землі, температура так само швидко підвищується. Що спричинює такі великі коливання температури на Місяці?

3-53. Як показали вимірювання, біля поверхні Місяця в 1 см³ міститься порядку 10⁶ атомів (водню, неону та ін.), а тиск повітря в балоні вакуумної електронної лампи дорівнює приблизно 10⁻⁵ Па. Чи можна вважати, що Місяць практично має атмосферу?

3-54. Перелічіть найпоширеніші форми рельєфу поверхні Місяця. Покажіть на глобусі або на повній фотокарті Місяця: моря Східне, Дошів і Криз; хребти Апенніни, Карпати і Радянський; кільцеві гори (кратери) Платон, Ціолковський і Струве.

3-55. Визначте за фотознімком, що його показано на кольоровому мал. 7, діаметри кратерів Коперник і Птолемей та 1—2 відносно дрібніших кратерів, вважаючи, що радіус Місяця дорівнює 1740 км.

3-56. Знайдіть висоту крутого валу відносно дна кратера на Місяці (в км), якщо в момент перебування Сонця на висоті 30° (над його горизонтом) тінь від валу на горизонтальному дні кратера видно під кутом 3°5'. Вважати, що лінійний і кутовий діаметр Місяця дорівнюють відповідно 3475 км і 31'5".

3-57. У чому полягає подібність і відмінність рельєфних утворень на Місяці, Меркурії і Марсі? Який зовнішній фактор ерозії деталей поверхневого шару є вирішальним для кожного із зазначених небесних тіл?

3-58. Відношення потоку відбитого візуального проміння до падаючого, або альbedo Землі дорівнює 0,36, а Місяця — близько 0,07. Покладаючи, що відстані Землі й Місяця від Сонця однакові і що $R_s = 0,27 R_\odot$, визначте, у скільки разів освітленість, створювана Землею на місячній поверхні, більша від освітленості, яку повний Місяць створює на земній кулі.

3-59*. Охарактеризуйте структуру, хімічний склад та фізико-механічні властивості місяцевого ґрунту. Що вам відомо про аномалії сили тяжіння, «гарячі точки» і радіоактивність речовини на Місяці?

3-60. На кольоровому мал. 8 показано фотографію Фобоса — супутника Марса, одержану з борту «Марінера-9». Знаючи, що розміри Фобоса не перевищують 27 км у поперечнику, визначте (наближено) діаметри його 2—3 кратерів. Назвіть і обґрунтуйте єдино можливу причину походження кратерів на поверхні Фобоса.

3-61. У табл. 2 перелічено в алфавітному порядку найбільші за розмірами супутники планет Сонячної системи і вказано для порівняння їх маси та лінійні радіуси (у масах і радіусах Місяця): з'ясуйте і заповніть інші стовпчики таблиці даної форми короткими відповідями, як це зроблено стосовно Ганімеда; знак «?» означає, що на супутнику явищ вулканізму не виявлено.

Таблиця 2

№ п/п умовн.	Назва супутника	Маса ($M_s = 1$)	Радіус ($R = 1$)	Планета, до якої належить	Наявність атмо- сфери, основні гази	Існування		Відношення періодів обертання t/T
						сейс- міч- ності	вулканізму	
1	Ганімед	2,09	1,44	Юпітер	так: CH ₄ , NH ₃	так	/?	1
2	Європа	0,64	0,89					
3	Іо	0,95	1,00					
4	Каллісто	1,18	1,35					
5	Місяць	1	1					
6	Титан	1,89	1,40					
7	Тритон	1,9	1,15					

* t — період власного обертання, T — період обертання навколо планети.

3-62. Користуючись даними табл. 2, визначте середню густину Каллісто, прискорення сили тяжіння на поверхні Титана і критичну швидкість для Тритона. Відповідні фізичні характеристики Місяця вважати відомими (див. додаток, табл. 1).

3-63. Як ви знаєте наукові припущення щодо походження кільця астероїдів? Назвіть головні характеристики кількох відносно великих астероїдів.

3-64. В чому полягає різноманітність орбіт малих планет? З якої причини параметри їх орбітального руху можуть певною мірою змінюватись?

3-65. Дослідження яскравих астероїдів показало, що, як і для Місяця, їх спектр є відбитим сонячним спектром без додаткових ліній і смуг поглинання. Про що свідчить цей факт?

3-66*. Колір багатьох вивчених малих планет не змінюється з часом. Беручи це до уваги, поясніть, чим саме зумовлені короткоперіодичні коливання їх блиску?

3-67. У чому полягає відмінність між болідом (або метеором) і метеоритом?

3-68. З'ясуйте причину того, що явище боліда нерідко супроводжується звуковими ефектами — розкотистим гулом, дзижчанням і т. ін.

3-69. Свідком яких фізичних процесів (та їх наслідків) у земній атмосфері стає людина, коли вона спостерігає «падаючу зірку»? Чи можуть відбуватися метеорні явища на Титані, на малій планеті?

3-70. Схарактеризуйте «сибірське диво» — Тунгуський метеорит. Яке його, за сучасними уявленнями, походження?

3-71. Ознайомтесь за даними Шкільного астрономічного календаря з метеорними потоками Пегасіди, Драконіди, Ліриди, Оріоніди та Персеїди; знайдіть положення їхніх радіантів на карті зоряного неба. Виконайте у відповідні вечори спостереження цих потоків, додержуючи зазначених у календарі методичних вказівок.

3-72. Якими характеристиками щодо розміру, густини та форм видимого світіння й орбітального руху яскраві комети істотно відрізняються від інших тіл нашої планетної системи? Наведіть порівняльні приклади.

3-73*. З наближенням комети до Сонця її спектр помітно змінюється за кількістю й виглядом ліній і смуг. Які процеси і явища визначають ці зміни?

3-74. З'ясуйте основні фізичні фактори, що спричиняють розпад періодичних комет і поступове перетворення їх у метеорні потоки.

3-75. Розкажіть про відомі вам гіпотези щодо походження комет, зокрема про гіпотезу в цій галузі проф. С. К. Всехсвятського.

IV. СОНЦЕ І ЗОРІ

Виконання вправ цього розділу помітно сприяє формуванню умінь визначати основні характеристики Сонця і зір, дає змогу учням глибше засвоїти методи пізнання зоряного світу.

Значну увагу слід приділити задачам і завданням, що стосуються досліджень спектра Сонця — найближчої до нас зорі — та подвійних і змінних зір. У багатьох випадках це полегшує з'ясування ряду інших питань розділу, зокрема допомагає усвідомити наукове положення про різноманітність параметрів і єдність природи зір.

Враховуючи масштабність самосвітних тіл, знайдені числові значення їх характеристик треба, звичайно, округлювати. Наприклад, відповідь щодо температури поверхні зорі доцільно виражати з точністю до 50 К, відстань її від нас — до 0,1 пк, зоряної величини — не більш, як до 0,01 і т. д.

Працюючи з діаграмами і кривими залежностей, що виражають закономірні зв'язки

між певними астрофізичними величинами зір, а також зі спектрограмами і фотознімками, варто використовувати відповідне креслярське приладдя, вимірювальні прилади з яконайменшою ціною поділки шкали, лупи тощо.

У шкільному курсі астрономії, як відомо, розглядається візуальна фотометрична система; підручник рідко посилається на болометричну систему, а інші системи визначення випромінювальних характеристик світил у ньому зовсім не згадуються. Тому в тексті цього розділу, коли йдеться про візуальний блиск і абсолютну візуальну зоряну величину, слово *візуальний (-на)* найчастіше опускається. З тією ж метою скорочення обсягу формулювань задач і завдань табличну залежність вигляду спектра і кольору зорі від температури (див. с. 84) умовно називатимемо *відповідністю «спектр—температура—колір»*, параметр «ефективна температура» виражатимемо одним словом «температура».

Взагалі поняття температури досить складне: залежно від стану й умов перебування джерела випромінювання, а, отже, й від методу визначення, розрізняють кінетичну, кольорову, радіаційну та інші температури.

Оптично товсті поверхневі шари плазми Сонця і зір випромінюють майже як абсолютно чорне тіло й утворюють неперервний спектр. Температура, визначена за цим спектром, тобто знайдена на основі закону Стефана—Больцмана, називається ефективною; вона трохи відрізняється своїм числовим значенням від справжньої температури зоряного об'єкта, однак саме з нею часто пов'язують ряд інших характеристик зір.

Деякі вміщені тут завдання і задачі досить складні й, отже, виходять за межі навчальної програми; їх можна використати в роботі з учнями, охопленими астрономічним факультетом, запропонувати учасникам шкільних олімпіад та ін.

Далі наведено формули, табличні й графічні залежності та діаграми, що їх необхідно застосовувати під час розв'язування практичних вправ.

Прискорення сили тяжіння на поверхні світила (Сонця, зорі)

$$g = G \frac{M}{R^2}, \quad (4.1)$$

де M і R — маса і радіус світила, G — гравітаційна стала.

Повна потужність випромінювання Сонця

$$W_{\odot} = 4\pi a_{\oplus}^2 q_{\odot}, \quad (4.2)$$

де $a_{\oplus}$ — середня віддаль Землі від Сонця, $q_{\odot} = 1,37 \cdot 10^3 \text{ Вт/м}^2$ — сонячна стала.

Плямотворна діяльність Сонця, що характеризується умовним числом Вольфа, визначається за формулою:

$$W_0 = f + 10g \quad (4.3)$$

де f — кількість усіх плям на фотознімку Сонця, g — кількість груп плям і самітних плям разом.

Температуру поверхні Сонця і зір можна обчислювати за формулою

$$T = \frac{7200}{\kappa + 0,64} \text{ (K)}, \quad (4.4)$$

де κ — показник кольору, що дорівнює різниці

між фотографічною¹ і візуальною зоряними величинами світила.

Віддаль до зір у парсеках, світлових роках і астрономічних одиницях відповідно дорівнює:

$$r = \frac{1}{\pi} \text{ (пк)} \quad (4.5)$$

$$r = \frac{206265}{63240} \frac{1}{\pi} \text{ (св. р.)} \quad (4.5a),$$

$$r = \frac{206265}{\pi} \text{ (а. о.)}, \quad (4.5b)$$

де π — паралакс зорі, виражений у секундах дуги.

Абсолютна зоряна величина (M) світила, якщо нехтувати поглинанням світла між зоряним середовищем,

$$\text{або} \quad M = m + 5 - 5 \lg r, \quad (4.6)$$

$$M = m + 5 + 5 \lg \pi, \quad (4.7)$$

де r — відстань до світила в ПК, π — його паралакс.

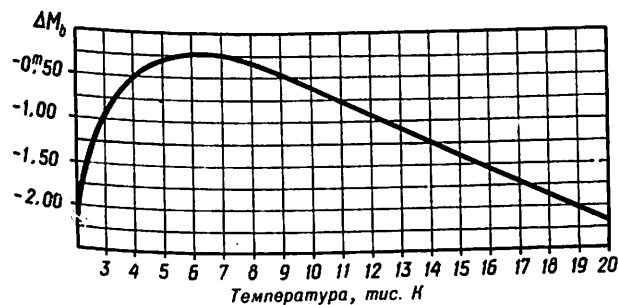
Логарифм світності зорі

$$\lg L = 0,4 (M_{\odot} - M), \quad (4.8)$$

де $M_{\odot} = 4,79$ — абсолютна зоряна величина Сонця.

Логарифм радіуса зорі, вираженого в радіусах Сонця,

¹ Видима фотографічна зоряна величина світила визначається за його зображенням на спеціальній фотографічній пластинці.



Мал. 21. Графік залежності болометричної поправки від температури — $\Delta M_b = f(T)$.

$$\lg R = \frac{5900}{T} - 0,20M - 0,02, \quad (4.9)$$

де T і M — відповідно температура і абсолютна зоряна величина зорі.

Абсолютна болометрична зоряна величина (M_b), що характеризується випромінюванням світила в усіх довжинах хвиль спектра,

$$M_b = M + \Delta M_b, \quad (4.10)$$

де ΔM_b — болометрична поправка, числове значення якої можна знайти за графіком $\Delta M_b = f(T)$, що показаний на мал. 21.

Логарифм болометричної світності зорі

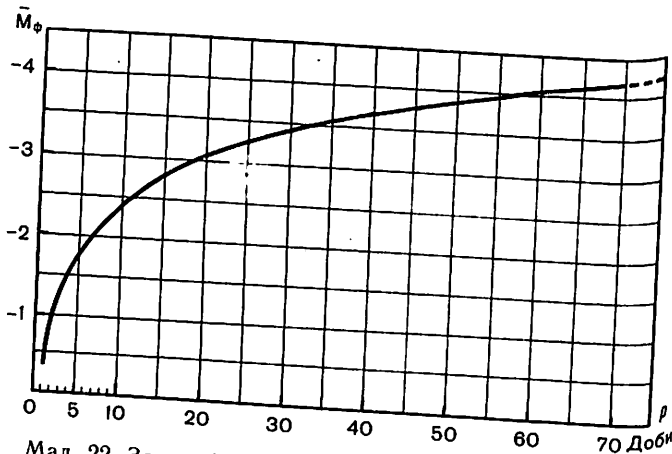
$$\lg L_b = 0,4 (M_{b\odot} - M_b), \quad (4.11)$$

де $M_{b\odot} = 4,72$ — абсолютна болометрична величина Сонця.

Повна (болометрична) потужність випромінювання зорі

$$\omega = 4\pi R^2 \sigma T^4, \quad (4.12)$$

де $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К}^4)$ — стала Стефана — Больцмана, R — радіус зорі в метрах, T — температура її поверхні.



Мал. 22. Залежність «період—світність» для класичних цефеїд.

Маса фізично подвійної зорі в масах Сонця

$$M_1 + M_2 = A^3 : P^2, \quad (4.13)$$

де M_1 і M_2 — маси зір-компонентів, A і P — відповідно велика піввісь орбіти (в а. о.) і період обертання (в роках) цієї зорі. Якщо a — велика піввісь у секундах дуги й π — паралакс подвійної зорі, то

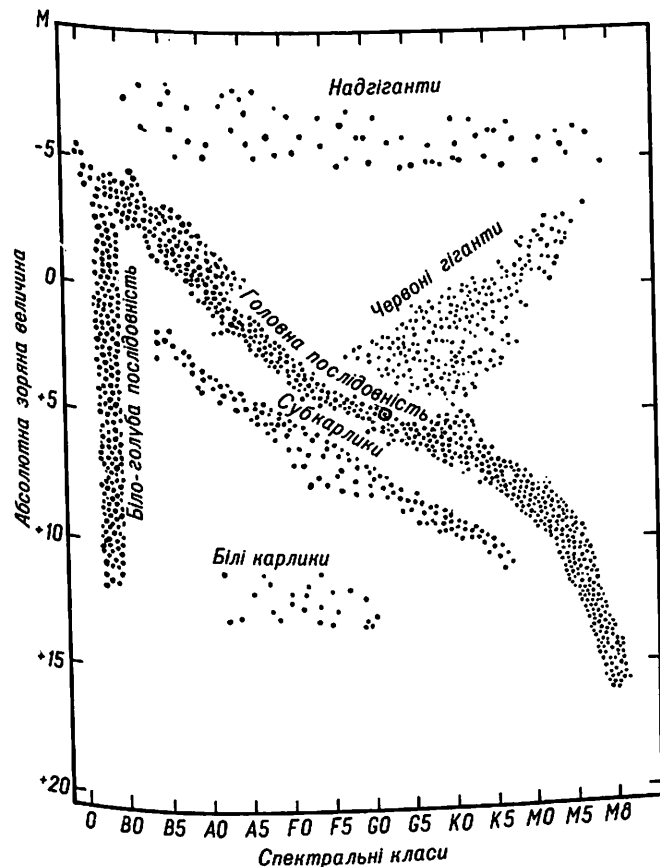
$$A = a : \pi \text{ (а. о.)}. \quad (4.14)$$

Середня густина зорі з масою M і радіусом R (в масах і радіусах Сонця)

$$\delta = \frac{M}{R^3} \cdot \delta_{\odot}, \quad (4.15)$$

де $\delta_{\odot}$ — середня густина Сонця.

Середню абсолютну фотографічну зоряну величину ($\bar{M}_{\phi}$) цефеїди можна знайти за графіком, показаним на мал. 22.



Мал. 23. Діаграма «спектр—світність».

Неперервна послідовність основних спектральних класів має вигляд: O—B—A—F—G—K—M, в ній класи O, B і A називаються ранніми, а K і M — пізніми.

Позначення десяти проміжних спектрів

кожного основного спектрального класу, наприклад класу В: В0, В1, В2, В3, В4, В5, В6, В7, В8, В9.

Відповідність «спектр—температура—колір» для зір

Спектр	Температура, К	Колір	Спектр	Температура, К	Колір
В0	25000	Біло-голубий	G0	6000	Чисто-жовтий
В5	15600	Голубувато-білий	G5	5500	Темно-жовтий
A0	11000	Білий	K0	5100	Червонувато-жовтий
A5	8700	Жовтувато-білий	K5	4400	Оранжевий
F0	7600	Білувато-жовтий	M0	3600	Жовтувато-червоний
F5	6600	Світло-жовтий	M5	3000	Червоний

Зоряні послідовності на діаграмі «спектр—світність» та їх назви показано на мал. 23.

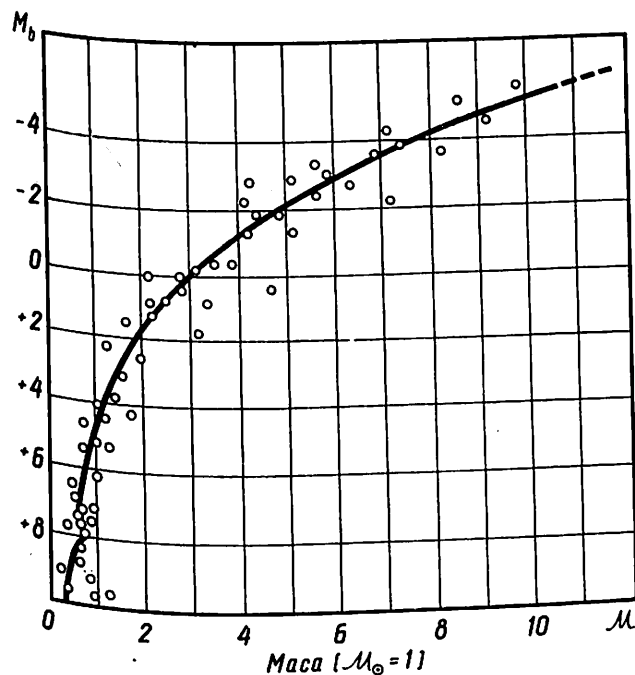
Маси самітних зір, що належать переважно до головної послідовності, визначаються із залежності «маса—світність» (мал. 24).

Температура і густина речовини в центрі схожих на Сонце зір головної послідовності:

$$T_{\text{ц}} \approx 1,5 \cdot 10^7 \frac{M}{R} \text{ (К)}, \quad (4.16)$$

$$\delta_{\text{ц}} \approx 150 \frac{M}{R^3} \text{ (г/см}^3\text{)}, \quad (4.17)$$

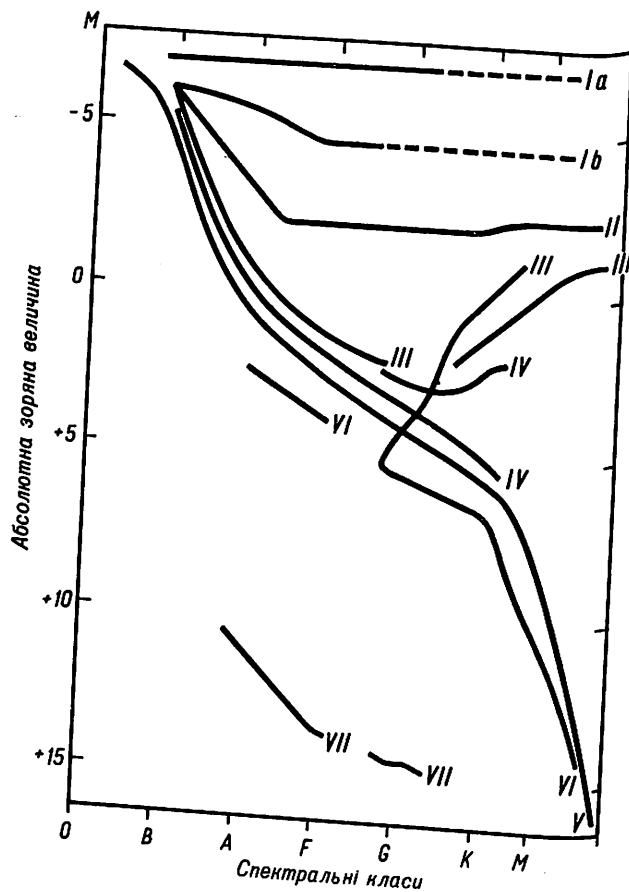
де M і R — маса і радіус зорі в масах і радіусах Сонця, коефіцієнти пропорційності $1,5 \cdot 10^7$ (К) та 150 (г/см³) — відповідно температура і густина речовини в надрах Сонця.



Мал. 24. Залежність «маса—світність».

Схематичне розташування і позначення класів світності зір на діаграмі «спектр—світність» показано на мал. 25.

Приклад. Паралакс зорі β Гончих Псів $\pi = 0,108$, а її видима зоряна величина $m = 4,32$ і показник кольору $x = 0,47$. Визначити інші фізичні й метричні характеристики цієї зорі, скориставшись поданими вище формулами та графічними й табличними залежностями, що



Мал. 25. Послідовності класів світності на діаграмі «спектр—світність»: I a, б — надгіганти, II — яскраві гіганти, III — слабкі гіганти, IV — субгіганти, V — нормальні карлики, VI — субкарлики, VII — білі карлики.

виражають зв'язки між певними параметрами зір.

Розв'язання. Віддаль зорі від нас $r = \frac{1}{\pi} = \frac{1}{0,108} = 9,259$ пк; $r = 9,3$ пк.

Температура поверхні $T = \frac{7200}{x + 0,64} = \frac{7200}{0,47 + 0,64} = 6486$ К; $T = 6500$ К.

Абсолютна зоряна величина $M = m + 5 + 5 \lg \pi = 4,32 + 5 + 5 \lg 0,108 = 4^m.49$.

Світність зорі $\lg L = 0,4(M_{\odot} - M) = 0,4 \times (4,79 - 4,49) = 0,12$; $L = 1,3$.

Болометрична поправка за графіком, показаним на мал. 21, $\Delta M_b = -0^m.23$.

Абсолютна болометрична зоряна величина $M_b = M + \Delta M_b = 4,49 - 0,23 = 4^m.26$.

Маса зорі (в масах Сонця), згідно із залежністю «маса—світність» (див. мал. 24), $M = 1,1 M_{\odot}$.

Радіус (у радіусах Сонця) $\lg R = \frac{5900}{T} - 0,20 M - 0,02 = \frac{5900}{6500} - 0,20 \cdot 4,49 - 0,02 = -0,0103$; $R \approx 1,0 R_{\odot}$.

Середня густина зорі $\delta = \frac{M}{R^3} \delta_{\odot} = \frac{1,1}{1,0^3} \times 1,41$ (г/см³) = 1,55 г/см³.

Прискорення сили тяжіння на поверхні (геліоцентрична гравітаційна стала $GM_{\odot} = 132718 \cdot 10^{15}$ м³/с², радіус Сонця $R_{\odot} = 696 \cdot 10^6$ м): $g = \frac{GM}{R^2} = \frac{1,1 GM_{\odot}}{1,0^2 R_{\odot}^2} = \frac{1,1 \cdot 132718 \cdot 10^{15}}{1,0^2 \cdot 696^2 \cdot 10^{12}} = 301$ м/с².

Потужність випромінювання (стала $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ од. СІ, радіус $R_{\odot} = 696 \cdot 10^6$ м) .
 $\omega = 4\pi R_{\odot}^2 T^4 = 4\pi \cdot 1,0^2 R_{\odot}^2 \sigma T^4 = 4 \cdot 3,14 \times$
 $\times 696^2 \cdot 10^{12} \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 6500^4 = 6,16 \times$
 $\times 10^{26}$ Вт; $\omega = 6,2 \cdot 10^{23}$ кВт.

Температура і густина речовини в центрі (зоря, очевидно, подібна до Сонця) $T_{\text{ц}} \approx 1,5 \cdot 10^7 \frac{\text{М}}{\text{Р}} = \frac{1,5 \cdot 10^7 \cdot 1,1}{1,0} = 1,65 \cdot 10^7$ К.

$T_{\text{ц}} \approx 16,5 \cdot 10^6$ К; $\delta_{\text{ц}} \approx 150 \frac{\text{М}}{\text{Р}^3} = \frac{150 \cdot 1,1}{1,0^3}$ (г/см³) =
 $= 165$ г/см³, $\delta_{\text{ц}} \approx 165$ г/см³.

Спектральний клас і колір — згідно з відповідністю «спектр—температура—колір»: F6, світло-жовтий.

Зоряна послідовність і клас світності відповідно до F6 і $M = 4^m,49$ за діаграмою «спектр—світність» (див. мал. 23 і 25) такі: зоря належить до головної послідовності і, отже, до класу світності V.

* * *

4-1. В якому стані перебуває речовина Сонця? Як ви його собі уявляєте?

4-2. Чим пояснюється спостережуване потемніння видимого сонячного диска до краю (див. кольоровий мал. 9)?

4-3. Визначте повну потужність випромінювання Сонця за сонячною сталою ($q_{\odot} = 1,37 \cdot 10^3$ Вт/м²); середню віддаль Землі від Сонця вважати відомою.

4-4. Беручи до уваги формулу (4.12), обчисліть повну потужність випромінювання 1 м² поверхні Сонця; температуру Сонця вважа-

ти 5800 К. Здобутий результат порівняйте з потужністю Дніпровської ГЕС ім. В. І. Леніна ($\omega_1 = 1,54 \cdot 10^6$ кВт).

4-5. Знаючи сонячну сталу і поклавши радіус земної кулі рівним 6400 км, знайдіть енергію випромінювання Сонця, яка щосекунди потрапляє на Землю. У скільки разів ця енергія перевищує $6 \cdot 10^6$ кВт — потужність Красноярської ГЕС ім. 50-річчя СРСР?

4-6. Назвіть і коротко охарактеризуйте відомі вам утворення у фотосфері Сонця.

4-7. Діаметр Сонця становить 1392000 км. За фотографією Сонця (див. кольоровий мал. 9) визначте лінійні протяжності сонячних плям, що умовно позначені цифрами 1, 2, 3.

4-8. На кольоровому мал. 10 в околі групи сонячних плям помітно факельне поле у вигляді сукупності світлих ділянок. Беручи до уваги масштаб малюнка, визначте справжні розміри (по довжині) двох факелів, позначених відповідно літерами B і C.

4-9. Радіус сонячного диска ($R_{\odot} = 6,96 \times 10^5$ км) спостерігається з Землі в середньому під кутом 16',0, а порівняно велика фотосферна гранула — приблизно під кутом 0",6. Чому дорівнює розмір такої гранули в км?

4-10. Число Вольфа, яким прийнято характеризувати плямотворну діяльність Сонця в ту чи іншу календарну дату, обчислюється за формулою (4.3). При цьому в групу плям об'єднують близькі за розташуванням плями, пов'язані між собою помітним дотиком або накладанням їх півтіней, дещо темнувато-розмитими смужками-перемичками й т. ін.

Визначте числа Вольфа за фотографіями сонячного диска (див. кольоровий мал. 11).

одержаними відповідно 11 листопада і 18 грудня 1980 р.

4-11. Фотоспостереження Сонця в лютому 1979 р. показало, що певним датам відповідають такі числа Вольфа:

Дати	1.ІІ	3.І	6.ІІ.	9.ІІ.	12.ІІ
W_0	274	241	299	279	153

Дати	15.ІІ	18.ІІ	21.ІІ	24.ІІ	27.ІІ.
W_0	248	143	199	174	340

Побудуйте за цими даними графік залежності сонячної активності від часу $W_0 = f(t)$. Чи можна вважати плямтворні процеси на Сонці стабільними?

4-12. Нижче наведені середньорічні числа Вольфа в період з 1916 по 1929 р.:

Рік	1916	1917	1918	1919	1920	1921	1922
W_0	57,1	103,9	80,6	63,6	37,6	26,1	14,2

Рік	1923	1924	1925	1926	1927	1928	1929
W_0	5,8	16,7	44,3	63,9	69,0	77,8	64,9

Зобразіть цю залежність графічно, відкладаючи на осі абсцис роки, а на осі ординат — числа W_0 , і звідси визначте: а) тривалість

циклу плямтворної діяльності Сонця; б) інтервал часу зростання сонячної активності від мінімального до максимального значення та тривалість її спаду; порівняйте екстремальні значення W_0 в розглянутому циклі.

4-13*. Спостереженнями встановлено, що Сонцю властиве диференціальне обертання навколо власної осі, причому найбільшу кутову швидкість має екваторіальна зона, найменшу — біляполярна.

Беручи до уваги, що кутова швидкість (у градусах за добу) фотосферних утворень визначається за формулою

$$\Omega = 14^\circ,37 - 2^\circ,79 \sin^2 \varphi, \quad (4.18)$$

де φ — геліографічна широта, знайдіть числове значення добової швидкості (Ω) та періоду обертання (T , в добах) навколо осі обертання Сонця тих ділянок фотосфери, які розташовані на геліоширотах $\varphi = 0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ і 80° ; побудуйте графік залежності «період—геліоширота», тобто $T = f(\varphi)$; обчисліть, знаючи радіус Сонця, лінійну швидкість обертання (в км/с) точок, що знаходяться на сонячному екваторі і на геліопаралелі $\varphi = 60^\circ$.

4-14. На фотографіях активного протуберанця (див. кольоровий мал. 26) зафіксовані його положення відносно хромосфери на відповідні моменти часу; масштаб фотознімків зазначено.

Визначте з допомогою циркуля і лінійки максимальні висоти потоків речовини протуберанця від поверхні хромосфери в моменти $10^h 26^m, 0$, $10^h 41^m, 0$ і $10^h 45^m, 5$; обчисліть середні швидкості радіального руху верхівки протуберанця в корону за інтервали часу між кожними

двома послідовними моментами фотографування цього явища.

4-15. За фотознімками Сонця у фазі повного затемнення (див. кольоровий мал. 12) знайдіть лінійні розміри (в км) максимальної радіальної протяжності коронального сяйва в космічний простір у кожному з двох випадків. Справжній діаметр сонячного диска вважати відомим.

4-16. Що таке сонячний вітер?

4-17. До якого з видів спектра (див. кольоровий мал. 27) належить спектр Сонця? Поясніть його походження.

4-18. У чому полягає і чим обумовлена істотна відмінність між спектром фотосфери і спектром протуберанця або хромосфери Сонця?

4-19. Якісний хімічний склад Сонця чи якоїсь зорі за дифракційним спектром визначають, наприклад, так:

1) знаходять дисперсію даної спектрограми, тобто величину

$$\eta = \frac{\lambda - \lambda_0}{s} \left(\frac{\text{Å}}{\text{мм}} \right), \quad (4.19)$$

де λ і λ_0 — довжини хвиль ототожнених ліній спектрограми, s — безпосередньо виміряна відстань між цими лініями;

2) обчислюють довжину хвилі довільної лінії на взятій спектрограмі за формулою

$$\lambda_x = \lambda_0 \pm \eta s_x, \quad (4.20)$$

в якій s_x — виміряна відстань між ототожненою і шуканою (λ_0 і λ_x) лініями, знак «плюс» відповідає лінії, розташованій від λ_0 в бік червоної, а знак «мінус» — в бік фіолетової частини спектра;

3) встановлюють з допомогою таблиці спектральних ліній хімічний елемент, що утворює лінію обчисленої довжини хвилі.

Визначте в розглянутій послідовності, користуючись спектрограмою Сонця на кольоровому мал. 13, хімічні елементи сонячної атмосфери, які створюють умовно позначені лінії λ_{x1} , λ_{x2} і λ_{x3} .

Примітка. Вимірювати відстані s , s_{x1} , s_{x2} , ..., а також обчислювати дисперсію η слід з яконайбільшою точністю.

4-20. У скільки разів блиск Сонця ($m_{\odot} = -26,78$) перевищує блиск повного Місяця ($m_{\text{Міс}} = -12,6$), а повний Місяць переважає за блиском Полярну ($m = 2,12$)?

4-21. Що вам відомо про джерела випромінювання Сонця і зір?

4-22. На кольоровому мал. 14 наведено спектри кількох зір, тотожних за хімічним складом. У чому полягають головні причини значної відмінності зовнішнього вигляду цих та інших зоряних спектрів?

4-23. На кольоровому мал. 15 показано спектрограму зорі ζ Персея. Керуючись умовою завдання 4-19, визначте, яким хімічним елементам зоряної атмосфери належать спектральні лінії, позначені λ_{x1} , λ_{x2} і λ_{x3} .

4-24. Обчисліть за формулою (4.4) температуру поверхні зір β Діви, η М. Ведмедиці, ω Кассіопеї, λ В. Пса і τ Скорпіона, якщо їхні показники кольору відповідно дорівнюють $+0,41$, $+0,20$, $+0,01$, $-0,18$ і $-0,30$. За одержаними і наявними даними побудуйте графік залежності $x = f(T)$ і з його допомогою з'ясуйте області температури, яким відповідають додатні та від'ємні значення показника кольору зір.

4-25. Що таке паралакс зорі? Як він пов'язаний з відстанню до зорі?

4-26. Назвіть одиниці вимірювання відстані в астрономії та порівняйте їх числові значення.

4-27. Паралакс Арктура (α Волопаса) дорівнює $\pi=0,087$, а паралакс Факта (α Голуба) — $\pi=0,022$. У скільки разів зоря Факт далі від нас, ніж Арктур?

4-28. Обчисліть відстані в парсеках, світлових роках і астрономічних одиницях до таких двох зір за їх паралаксами: Бетельгейзе (α Оріона), $\pi=0,005$; Гемми (α Півн. Коро-ни), $\pi=0,042$.

4-29. Паралакс Веги (α Ліри) $\pi=0,121$, Денеба (α Лебеда) $\pi=0,004$, Альтаіра (α Орла) $\pi=0,201$. Яка з цих зір далі від нас, ніж Вега, і яка ближче до нас?

4-30. Дайте означення абсолютної зоряної величини світила. Обчисліть абсолютну зоряну величину кожної з трьох зір за такими даними: Дубхе (α В. Ведмедини) $m=1,95$, $r=32,3$ пк; Полярної (α М. Ведмедини) $m=2,12$, $\pi=0,007$; Фомальгаут (α Півд. Риби) $m=1,29$, $r=22,5$ св. р. Яка з цих зір має порівняно найбільший та найменший абсолютний блиск?

4-31. Що розуміють під світністю світила? Знайдіть світність кожної з наведених тут зір за вказаними їх характеристиками: β Геркулеса $M=-0,91$; ϵ Ерідана $m=3,81$, $\pi=0,303$; λ Скорпіона $m=1,71$, $r=62,5$ пк. Яка з цих зір є порівняно найпотужнішим і яка найслабшим джерелом випромінювання у видимій області спектра?

4-32. Нижче наведено числові значення видимої та абсолютної зоряної величини зір: Проціон (α М. Пса) $m=0,48$, $M=2,80$;

Альферац (α Андромеди) $m=2,15$, $M=-0,61$; Поллукс (β Близнят) $m=1,21$, $M=1,17$.

З'ясуйте звідси, більша чи менша за 10 пк відстань до кожної вказаної зорі.

4-33. Обчисліть видиму зоряну величину зорі, яка за своїм блиском перевищує зорю λ Корми ($m=2,74$) в 20 разів.

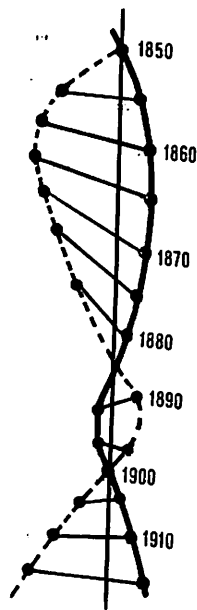
4-34. Визначте велику піввісь орбіти (в а. о.) подвійної зорі μ Оріона, паралакс якої $\pi=0,025$, а велика піввісь орбіти в кутовій мірі $a=0,28$.

4-35. Обчисліть масу подвійної зорі ζ Геркулеса в масах Сонця, якщо її період обертання $P=34,38$ років, а велика піввісь орбіти $A=14,12$ а.о.

4-36. Подвійна зоря Толіман (α Центавра) характеризується такими даними: паралакс $\pi=0,756$, велика піввісь орбіти $a=17,68$, період обертання $P=80$ років. Знайдіть масу цієї найближчої до Сонця подвійної зорі.

4-37. Визначте загальну масу подвійної зорі та маси її зір-компонентів за такими елементами: період обертання подвійної $P=21,0$ року, видима велика піввісь орбіти $a=0,63$, паралакс $\pi=0,072$, а відношення віддалей компонентів від спільного центра тяжіння становить 1,5.

4-38. На мал. 26 схематично показано взаємне розміщення зір-компонентів подвійної зорі Сіріуса (α В. Пса) відносно їх спільного центра тяжіння у відповідно зазначеної роки. Точки жирної кривої визначають послідовні положення Сіріуса А (головного компонента), пунктирної лінії — Сіріуса В (білого карлика), вертикальної прямої — центра тяжіння подвійної. Велика піввісь видимої орбіти Сіріуса $a=7,57$, паралакс $\pi=0,377$.



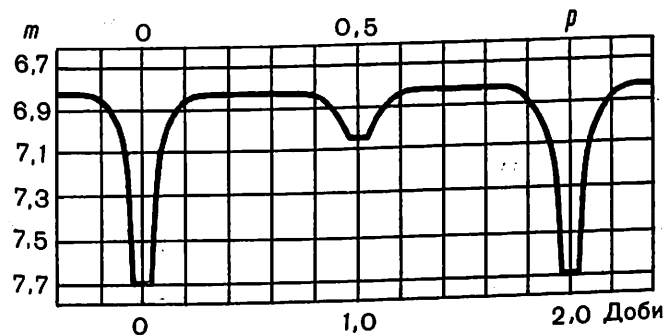
Мал. 26.
Схема руху
подвійної
зорі Сіріуса.

періоду обертання зазнає максимального доплерівського зміщення $\Delta\lambda = 1,0 \text{ \AA}$.

¹ Тут і далі ми користуємося одиницею довжини — ангстрем, яка ще зустрічається в підручнику астрономії: $1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ м}$. В додатках (табл. III) довжини хвиль подано в ангстремах і нанометрах.

Виходячи з цього, знайдіть:
а) період обертання, лінійний розмір великої півосі орбіти й сумарну масу подвійної зорі; б) середнє значення відношення відстаней зір-компонентів від спільного центра тяжіння (затримо вимірами на схемі) та масу кожного компонента окремо; в) середню густину Сіріуса В, якщо його радіус $R = 0,03 R_{\odot}$.
4-39. Які зорі називаються спектрально-подвійними та затемнювано-подвійними?

4-40. На кольоровому мал. 16 показано спектри подвійної зорі, здобуті в зазначені моменти фотоспостереження протягом 0,5 періоду обертання зір-компонентів (однакових мас) навколо спільного центра тяжіння. Орбіти компонентів цієї подвійної зорі є коловими і в їх площині лежить промінь зору, а лінія водню H_{γ} (довжина хвилі $\lambda = 4340,5 \text{ \AA}$) протягом



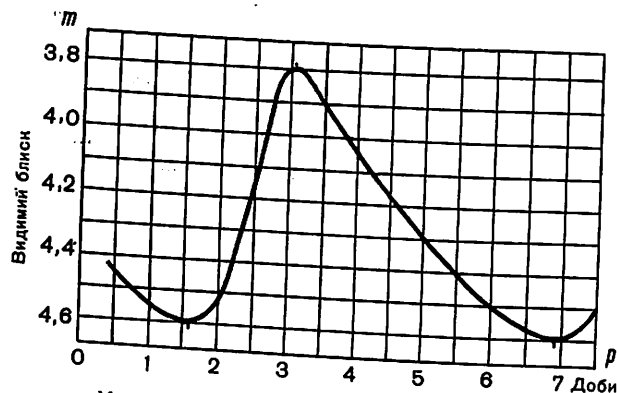
Мал. 27. Крива блиску AR Ящірки — затемнювано-змінної зорі.

Визначте тривалість періоду обертання, швидкість орбітального руху і радіус орбіт зір-компонентів.

4-41. Маса кожного компонента спектрально-подвійної зорі νv Корми становить $M_1 = M_2 = 2,4 M_{\odot}$, а період їх обертання навколо спільного центра тяжіння $P = 100 \text{ хв}$. Знайдіть велику піввісь орбіти цієї подвійної системи та швидкість орбітального руху першого чи другого компонента зорі.

4-42. Блиск затемнювано-подвійної зорі AR Ящірки періодично змінюється, як показано на мал. 27. Швидкість орбітального руху її кожного компонента приблизно дорівнює 120 км/с .

Визначте: а) які ділянки кривої блиску відповідають головному та вторинному затемненню зорі? б) у скільки разів блиск зорі зростає на проміжку від епохи глибокого мінімуму до епохи другого мінімуму? в) чому дорівнює радіус орбіти даної зорі?



Мал. 28. Крива зміни блиску δ Цефея.

4-43. Які зорі змінного блиску називаються цефеїдами? Назвіть і охарактеризуйте представників довгоперіодичних і короткоперіодичних цефеїд. Поясніть причину періодичної зміни поверхневої температури цефеїд та періодичного доплерівського зміщення ліній в їх спектрі.

4-44. Користуючись кривою блиску зорі δ Цефея, показаною на мал. 28, визначте період пульсації (p), час, протягом якого блиск даної цефеїди (у межах періоду його зміни) зростає від мінімального до максимального значення, та інтервал часу повного зменшення її блиску; порівняйте час зростання з тривалістю спаду блиску цієї зорі.

4-45. Блиск класичної цефеїди AP Стрільця періодично коливається від $m_0=7,3$ до $m=8,5$, а блиск короткоперіодичної цефеїди RR Ліри — від $m_0=7,1$ до $m=8,0$. У скільки разів блиск кожної з цих зір у максимумі більше, ніж у мінімумі?

4-46. Нижче наведено числові значення блиску (в зоряних величинах) змінної зорі у відповідно зазначений час його оцінки:

m	Час	m	Час
4,71	21 ^h 12 ^m	4,79	01 ^h 40 ^m
4,51	21 32	4,83	02 48
4,38	21 42	4,76	03 12
4,26	21 56	4,65	03 22
4,22	22 08	4,47	03 40
4,28	22 34	4,34	03 50
4,41	23 18	4,22	04 06
4,57	00 06	4,26	04 32
4,73	01 08	4,32	04 52

За цими спостереженнями побудуйте на міліметровому папері і в доцільному масштабі криву блиску $m_v=f(t)$; визначте елементи цієї кривої: період змінності (p) зорі, екстремальні значення блиску та моменти їх настання ($t_{\max}$ і $t_{\min}$), тривалість висхідної (τ_v) і спадної (τ_s) віток кривої, а також групу змінних, до якої належить дана зоря.

4-47. Розгляньте графічну залежність «період—світність» для цефеїд (див. мал. 22). Визначте з її допомогою середнє значення абсолютної фотографічної зоряної величини (M_ϕ) двох класичних цефеїд з періодом пульсації $p_1=5^d0$ і $p_2=30^d0$.

4-48. У кульовому зоряному скупченні ω Центавра виявлено короткоперіодичну цефеїду, середня видима зоряна величина якої $m=13,6$, а середня абсолютна величина $M=-0,5$. Знайдіть, застосовуючи формулу (4.6), відстань до згаданого зоряного скупчення.

4-49. Цефеїда з найближчої до нас зоряної системи — Туманності Андромеди — має в середньому видимому фотографічну зоряну вели-

чину $\bar{m}_\phi = 19,6$ і змінює блиск з періодом $p = 50^d,2$. Визначте, скориставшись залежністю «період—світність», середню абсолютну величину (M_ϕ) даної цефеїди, а також віддаль до Туманності Андромеди у світлових роках.

4-50. Які зорі називаються *новими* і *надновими*? Назвіть деякі з цих зір.

4-51. Чому вибух нової чи наднової зорі супроводжується зміною її спектра? Які риси властиві цій зміні спектра?

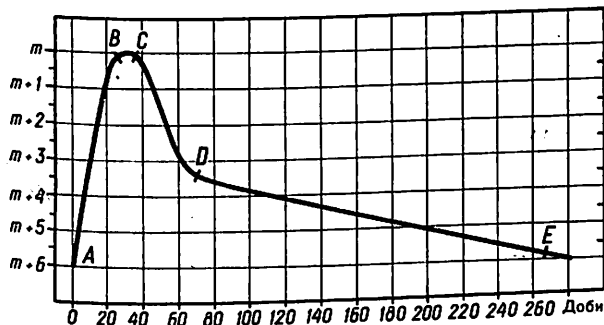
4-52. Спостережуваний блиск нової Стрільця 1936 р. стрибкоподібно змінювався від $15^m,0$ до $4^m,3$ видимої зоряної величини. Обчисліть, у скільки разів збільшився при цьому блиск зорі.

4-53. Блиск наднової Змієносія 1604 р. під час вибуху збільшився від $19^m,0$ до $-2^m,5$ видимої зоряної величини. Знайдіть відношення блисків у максимумі і в мінімумі випромінювання даної зорі.

4-54. Внаслідок спалаху видима зоряна величина нової GK Персея 1901 р. змінилася від $14^m,0$ до $0^m,2$, а нової CI Єдинорога 1918 р. — від $15^m,1$ до $5^m,2$. У скільки разів при цьому збільшився блиск першої і другої зорі? Чому дорівнює відношення видимого блиску цих зір у стані їх максимуму випромінювання?

4-55. Нова зоря v603 Орла в максимумі блиску мала видиму зоряну величину $m = -1,1$ й абсолютну зоряну величину $M = -8,8$. Чому дорівнювала її світність у цей момент і на якій відстані від нас вона спостерігалась?

4-56. Наднова зоря в максимумі блиску досягла абсолютної зоряної величини $M = -19$. Чому дорівнювала в цей момент її світність?



Мал. 29. «Згладжена» крива блиску наднової зорі.

4-57. На мал. 29 показано «згладжену» криву блиску деякої наднової зорі. Визначте: а) середнє зростання блиску (в зоряних величинах) за добу на ділянці AB кривої; б) число діб, протягом яких блиск підтримувався на рівні максимального значення (ділянка BC); в) середнє зменшення блиску наднової за добу на відрізку DE кривої.

4-58. Назвіть і запишіть неперервну послідовність основних спектральних класів зір.

Чим викликано поділ інтервалу між кожними двома сусідніми основними класами на частини та іншу деталізацію у позначенні спектрів зір?

4-59. Скориставшись відповідністю «спектр—температура—колір» (див. с. 84), визначте температуру поверхні і колір зір: δ Скульптора (F5), β Лева (A3), λ Орла (B9), α Гідри (K3), ϵ Дракона (G8). В дужках наведено спектральні класи, до яких належать зорі.

4-60. Спектри класичних цефеїд RV Скорпіона, TT Орла і X Стрільця періодично змінюються в межах: F5—G5, F8—K0 і F3—

G9. Визначте (наближено) за допомогою відповідності «спектр—температура—колір» (с. 84) зміни температури поверхонь і кольору цих зір, що відповідають зазначеним змінам спектра.

4-61. На кольоровому мал. 17 показано 5 різних за виглядом зоряних спектрів. За таблицею «Зоряні спектри-стандарти» (див. кольоровий мал. 18): а) ототожніть деякі лінії цих спектрів з лініями, що позначені в спектрах-стандартах K, H + H_ε, λ 4026, H_δ, H_γ та ін.; б) виконайте, зважаючи на взаємне розташування й інтенсивність ототожнених ліній, класифікацію заданих спектрів зір.

Випишіть з Навчального зоряного атласа або зоряного каталога кілька зір, що мають однакові з наведеними в завданні спектри.

Результати запишіть у таку таблицю:

Задані зоряні спектри		Позначення зір, спектри яких рівнозначні заданим
№ п/п	Спектр. клас	
1		
2		
3		
4		
5		

4-62. Зв'язок між якими основними характеристиками зір виражає діаграма «спектр—світність»? Яким чином вона побудована?

4-63. Назвіть послідовності зір і покажіть їх розташування на діаграмі «спектр—світність» (див. мал. 23). Визначте, до яких послідовностей належать зірі γ Дракона, ω Кассіопеї і

δ В. Пса, якщо абсолютні зоряні величини цих зір дорівнюють відповідно $-0^m,87$, $+0^m,75$ і $-4^m,53$, а їх спектри належать до спектральних класів K5, A0 і F8.

4-64. Нижче наведено числові значення абсолютної зоряної величини і температури поверхонь таких зір:

Назва і позначення зір	Абсолютна зоряна ве- личина, M	Темпе- ратура, K	Спектр- клас	Ко- лір	Зоряна послі- дов- ність	Радіус R (R _☉ = 1)	Світ- ність L
Канопус (α Кіля)	$-5^m,13$	8600					
Беллатрікс (γ Оріона)	$-2,57$	18800					
Хамаль (α Овна)	$+0,45$	4000					

Знайдіть, скориставшись відповідністю «спектр—температура—колір» (с. 84) та діаграмою «спектр—світність», до якого спектрального класу і якої зоряної послідовності належить кожна зоря; визначте кольори, радіуси і світності цих зір. Шукані характеристики внесіть у незаповнені стовпчики таблиці.

4-65. Вигляд спектра зір залежить не лише від температури, а й від її світності і, отже, лінійного розміру. Розгляньте на кольоровому мал. 19 фотографії спектрів трьох зір одного й того ж спектрального класу A0, але різних класів світності. З'ясуйте істотну відмінність вигляду цих спектрів та (з допомогою мал. 25) належність цих зір до тієї чи іншої послідовності діаграми «спектр—світність».

4-66. Абсолютна зоряна величина зорі о Візничого $M = 1,29$, а температура її поверхні

$T=11000$ К. Визначте масу цієї самотньої зорі та зоряну послідовність і клас світності, до яких вона належить.

4-67. Розшифруйте такі записи зоряного спектра: G2V, F3II, B8IIIe, K4VI, M3Ib, A1Vp, F0IVn.

Приклад. B5IVe — зоря-субгігант спектрального класу B5, в її спектрі поглинання є одна або кілька емісійних (яскравих) ліній.

4-68. Знайдіть масу, прискорення сили тяжіння на поверхні і середню густину зорі η М. Ведмедиці, температура поверхні якої $T=8600$ К і абсолютна зоряна величина $M=2,70$.

4-69. Визначте масу, радіус, густину і повну потужність випромінювання зорі, якщо температура її поверхні $T=6500$ К і абсолютна зоряна величина $M=4,77$. До якої зоряної послідовності та до якого класу світності належить ця зоря?

4-70. Визначте температуру і густину речовини в надрах зорі β Волосся Вероніки та спектральний клас і клас світності, до яких вона належить, якщо її паралакс $\pi=0,123$, видима зоряна величина $m=4,32$, температура поверхні $T=6100$ К, болометрична абсолютна зоряна величина $M_b=4,55$.

4-71. Зоря γ Вовка має видиму зоряну величину $m=2,95$, паралакс $\pi=0,015$, показник кольору $x=-0,24$. Визначте за цими даними такі її характеристики: а) температуру поверхні, абсолютну зоряну величину і лінійний радіус у радіусах Сонця; б) болометричну

поправку та болометричну абсолютну зоряну величину, масу і середню густину; в) прискорення сили тяжіння на поверхні й повну потужність випромінювання.

КОМПЛЕКСНЕ ЗАВДАННЯ «ЗОРІ»

Впровадження цього завдання у наведеному тут плані має пожвавити самостійно-індивідуальну роботу учнів з курсу астрономії.

Завдання охоплює питання різних розділів програми. Воно розраховане на тривалий строк, але запропонувати його доцільно на початку вивчення астрономії. При цьому кожен учень дістає окремий варіант завдання і виконує його поступово, в міру освоєння програмного матеріалу.

Умова завдання «Зорі» будь-якого варіанта складається з двох частин у вигляді відповідних таблиць. У таблиці «Варіанти завдання» (с. 106) повідомляються умовний номер кожної з 30 взятих зір та її екваторіальні координати — пряме сходження (α) і схилення (δ) для епохи 1950,0, — власний рух (μ), видима візуальна зоряна величина (m), показник кольору (x), паралакс (π) і радіальна швидкість відносно Сонця (V_r).

У таблиці «Обсяг завдання» (с. 107) в колонках «Підлягають визначенню» і «Література» перелічуються спільні для всіх варіантів шукані характеристики зорі і паралельно їм — розділи підручника «Астрономія» [6] і даного посібника [*], в яких можна знайти необхідні відомості з питань, що виникатимуть під час розв'язання того чи іншого пункту завдання.

Виконану роботу учень оформляє в окремому зошиті, додержуючи таких норм: умова кожного пункту завдання записується окремим абзацем; розв'язання обґрунтовується посиланням на відповідні теоретичні положення, закони і формули, а там, де можливо, й ілюструється кресленням; знайдені якісні оцінки, числові значення величин та інші відповіді супроводжуються чітким і коротким поясненням.

Учитель перевіряє хід виконання учнями завдання «Зорі» у заздалегідь визначені ним строки й оцінює його відповідним балом.

Особливо уважно треба ставитися до знаходження таких параметрів, як $T_{\text{эф}}$, M , ΔM_b , M (маси) і R , оскільки від цього залежатиме і якість визначення більшості інших характеристик зорі (див. табл. «Обсяг завдань»).

Варіанти завдання

№ п/п	α	δ	μ	m	x	λ	V_r км/с
1	$00^h, 10^m, 7$	$+14^\circ 54'$	$0,010$	$2^m, 87$	$-0^m 20$	$0^m 007$	$+5$
2	$01 28,8$	$+15 05$	$0,027$	$3,72$	$+1,05$	$0,018$	$+15$
3	$02 04,3$	$+23 14$	$0,241$	$2,23$	$+1,15$	$0,044$	-14
4	$03 55,7$	$-13 39$	$0,126$	$3,19$	$+1,43$	$0,003$	$+62$
5	$05 49,2$	$-20 53$	$0,685$	$3,90$	$+1,10$	$0,022$	$+100$
6	$06 34,8$	$+16 27$	$0,066$	$1,93$	$+0,10$	$0,031$	-13
7	$07 24,4$	$+08 24$	$0,065$	$3,09$	$-0,29$	$0,018$	$+23$
8	$08 44,1$	$+06 36$	$0,198$	$3,48$	$+0,75$	$0,010$	$+37$
9	$09 25,1$	$-08 26$	$0,034$	$2,16$	$+1,48$	$0,016$	-4
10	$11 11,6$	$+15 42$	$0,103$	$3,41$	$-0,02$	$0,020$	$+8$
11	$11 46,5$	$+14 51$	$0,511$	$2,23$	$+0,06$	$0,077$	-1
12	$11 48,1$	$+02 03$	$0,792$	$3,80$	$+0,48$	$0,100$	$+5$
13	$12 13,2$	$-17 16$	$0,163$	$2,78$	$-0,04$	$0,024$	-4
14	$12 31,8$	$-23 07$	$0,059$	$2,84$	$+0,91$	$0,027$	-8
15	$13 32,1$	$-00 20$	$0,287$	$3,44$	$+0,13$	$0,035$	-14
16	$13 52,3$	$+18 39$	$0,370$	$2,80$	$+0,55$	$0,101$	-0

17	15 14,3	-09 12	0,101	2,74	-0,10	0,022	-37
18	15 41,8	+06 35	0,140	2,75	+1,20	0,044	+3
19	15 43,9	+15 35	0,086	3,74	+0,10	0,034	+4
20	15 57,4	-22 29	0,032	2,54	-0,22	0,011	-16
21	16 28,1	+21 36	0,105	2,81	-0,03	0,018	-26
22	16 34,4	-10 28	0,022	2,70	+1,05	0,006	-19
23	16 55,3	+09 27	0,293	3,42	+0,08	0,026	-56
24	17 07,5	-15 40	0,097	2,63	+0,17	0,047	-1
25	17 32,6	+12 36	0,260	2,14	+1,03	0,056	+15
26	18 32,5	-08 17	0,315	4,06	-0,13	0,013	+36
27	18 52,2	-26 22	0,059	2,14	+0,40	0,021	-11
28	19 23,0	+03 01	0,267	3,44	+0,10	0,062	-32
29	22 52,0	-16 05	0,047	3,51	-0,07	0,040	+18
30	23 02,3	+14 56	0,071	2,57	0,030		-4

Обсяг завдання

№№ п/п	Підлягають визначенню	Література
1	2	3
1	Позначення і назва зорі	[6], розд. I.
2	$l: I_p$ — блиск у порівнянні з блиском Полярної ($m=2,12$)	[6], розд. I; [*], розд. I.
3	β — положення відносно площини екліптики (у градусах)	[6], розд. I.
4	T_m^C і T_m^3 — моменти сходу і заходу за місцевим середнім часом на геошироті $\varphi=55^\circ$	[6], розд. I, вкладка; [*], розд. I.
5	h і z — висота і зенітна відстань у верхній кульмінації на широті $\varphi=45^\circ$.	[6], розд. I.
6	A_s і A_z — азимуті точок сходу і заходу для широти $\varphi=55^\circ$	[6], розд. I, вкладка; [*], розд. I.
7	P — період календарних дат, в який можливо спостереження від 21^h до 23^h місцевого часу ($\varphi=55^\circ$)	[6], розд. I, вкладка; [*], розд. I.
8	$T_{\text{эф}}$ — температура поверхні	[6], розд. IV; [*], розд. IV.

1	2	3
9	λ — колір і вид спектра	[6], розд. I, III, IV; [*], розд. IV
10	r — відстань у парсеках і світлових роках	[6], розд. IV; [*], розд. IV.
11	M — абсолютна візуальна зоряна величина	[6], розд. IV; [*], розд. IV.
12	L — світність	[6], розд. IV; [*], розд. IV.
13	ΔM_b — болометрична поправка	[*], розд. IV.
14	M_b — абсолютна болометрична зоряна величина	[*], розд. IV; [6], розд. IV.
15	M — маса (в масах Сонця)	[6], розд. IV; [*], розд. IV.
16	R — радіус (у радіусах Сонця)	[6], розд. IV; [*], розд. IV.
17	δ — середня густина речовини	[6], розд. IV; [*], розд. IV.
18	g — прискорення сили тяжіння біля поверхні	[*], розд. IV.
19	ω — потужність випромінювання (у кВт)	[6], розд. IV; [*], розд. IV.
20	S_p — спектральний клас	[6], розд. IV; [*], розд. IV.
21	Q послідовність зір (до якої належить)	[6], розд. IV; [*], розд. IV.
22	K_s — клас світності	[*], розд. IV.
23	V_t — тангенціальна швидкість	[6], розд. V; [*], розд. V.
24	V — просторова швидкість (відносно Сонця)	[6], розд. V; [*], розд. V.
25	E — основне джерело енергії та його зміст	[6], розд. VI.
26	Φ — стадія еволюції	[6], розд. VI.

Примітка. Пункти 1 і 3 завдання розв'язуються з використанням зоряної карти і зоряних атласів, а пункти 4, 6 і 7 — за допомогою КЗН-Р.

V. БУДОВА І ЕВОЛЮЦІЯ ВСЕСВІТУ

Більшість практичних вправ цього розділу стосується параметрів відстані, рухів і фотометричних величин Галактики, її складових елементів (зоряних скупчень, туманностей і зір) та позагалактичних зоряних систем, радіогалактик і квазарів.

Ряд задач і завдань містить сучасний емпіричний матеріал, що його використання в процесі занять допомагає формуванню уявлень про будову й особливості розвитку Метагалактики та про відомі космологічні моделі Всесвіту, сприяє вихованню у школярів наукового світогляду.

Виконуючи практичні вправи, що стосуються руху зір у Галактиці, необхідно розрізняти променеву швидкість зір відносно Сонця і її спектрально спостережувану швидкість. Перша з них залишається протягом року незмінною, тоді як друга періодично коливається в деяких межах внаслідок орбітального руху Землі і, отже, на різні моменти часу має неоднакові числові значення. Обидві ці швидкості зір пов'язані між собою певними формулами, які тут не розглядаються.

Галактика в цілому має диференціальне і досить складне власне обертання. Зокрема, кутова швидкість колового руху її периферійних об'єктів, що розташовані близько до середньої площини Молочного Шляху, помітно зменшується із зростанням їх відстані від центра Галактики, причому зменшується дещо повільніше, ніж у випадку, коли б це обертання відбувалося за законами Кеплера.

Розв'язання завдань і задач розділу перед-

бачає використання в основному вже попередньо відомих формул, графічних та інших закономірностей для світу зір. Коли ж з'ясовуються параметри відстані і швидкості руху далеких галактик і космологічних радіоджерел, слід застосовувати закон Хаббла та інші властиві цим об'єктам закономірності.

Розглядаючи питання про походження і розвиток небесних тіл, потрібно передусім пояснити учням, що кожна космогонічна гіпотеза є науковим припущенням, обґрунтованою здогадкою, а не достовірною теорією. Гіпотеза висувається для пояснення певних процесів і явищ, зокрема космічних, що позитивно впливає на дальший розвиток знань у тій чи іншій галузі. В міру врахування нових фактів спостережень і узагальнення даних експерименту гіпотези удосконалюються або визнаються хибними.

Наводимо відповідні формули й закономірності та практичні вправи до розділу.

Лінійний розмір протяжного небесного об'єкта (зоряного скупчення, дифузної туманності, галактики) визначається формулою

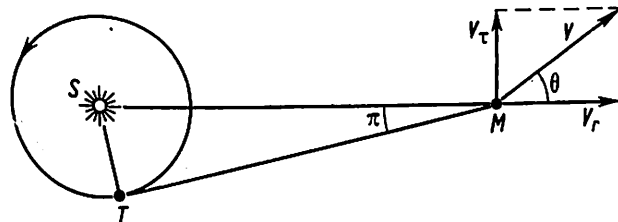
$$D = \frac{d}{206265''} r, \quad (5.1)$$

в якій d — видимий кутовий розмір об'єкта в секундах дуги, r — відстань в парсеках до нього, 206265 — число кутових секунд в одному радіані.

Просторова швидкість зорі відносно Сонця (мал. 30)

$$V = \sqrt{V_t^2 + V_r^2}, \quad (5.2)$$

де V_t — тангенціальна швидкість, V_r — променева швидкість зорі (відносно Сонця).



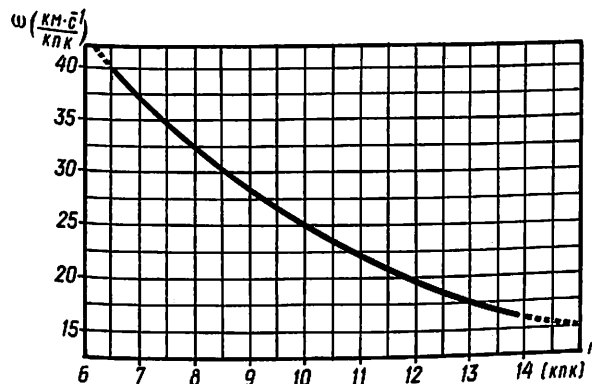
Мал. 30. Просторова швидкість зорі M відносно Сонця (S).

Тангенціальна швидкість руху зорі (в км/с)

$$V_t = 4,74 \frac{\mu}{\pi}, \quad (5.3)$$

де π — паралакс, μ — власний рух зорі в секундах дуги (за один рік).

Графічну залежність кутової швидкості колового руху (ω) зоряного чи іншого об'єкта навколо центра Галактики від відстані між ними (r) для периферійної частини галактичного диску показано на мал. 31.

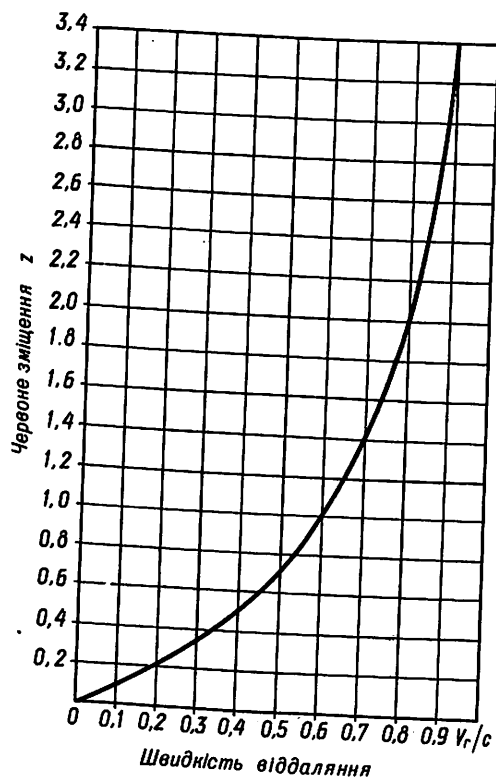


Мал. 31. Графік кутових швидкостей галактичних об'єктів на різних відстанях від центра Галактики — $\omega = f(r)$.

Закон Хаббла, встановлений для далеких галактик,

$$V_r = z \cdot c = H \cdot r, \quad (5.4)$$

де V_r — швидкість віддаляння галактики (в км/с), $z = \frac{\Delta\lambda}{\lambda}$ — величина червоного зміщення в



Мал. 32. Залежність z від V_r для об'єктів далекого космосу.

спектрі, $H = 75 \frac{\text{км} \cdot \text{с}^{-1}}{\text{Мпк}}$ — стала Хаббла, r — відстань до галактики в мегапарсеках, c — швидкість світла у вакуумі.

Швидкість віддаляння об'єктів далекого космосу, яка порівнянна зі швидкістю поширення світла ($V_r > 0,1c$), обчислюється за формулою

$$V_r = \frac{(z+1)^2 - 1}{(z+1)^2 + 1} \cdot c. \quad (5.5)$$

Криву залежності червоного зміщення (z) від швидкості V_r , якій відповідає формула (5.5), зображено на мал. 32.

Зв'язок між відстанню (r) до далекого об'єкта і його червоним зміщенням у спектрі, коли $z \gtrsim 0,3$, визначається вибором космологічної моделі Всесвіту:

у закритій пульсуючій моделі

$$r = \frac{c}{H} \cdot \frac{z}{1+z}, \quad (5.6)$$

а у відкритій моделі (Ейнштейна — де Сіттера)

$$r = \frac{2c}{H} \left(1 - \frac{1}{\sqrt{1+z}} \right), \quad (5.7)$$

де H , як згадувалося вище, — стала Хаббла, c — швидкість світла.

Приклад 1. У кульовому зоряному скупченні, яке спостерігається під кутом $d = 23',0$, виявлено короткоперіодичну цефеїду із середньою зоряною величиною $\bar{m} = 14,7$. Середня абсолютна зоряна величина даної зорі, як і інших цефеїд такого типу, $M \approx 0,5$. Визначити відстань до цього скупчення та його лінійний діаметр.

Розв'язання. Знаходимо відстань до скупчення; згідно з формулою (4.6), $\lg r = 0,2(m-M)+1 = 0,2 \cdot 14,2+1 = 3,84$; $r = 6920$ пк.

Обчислюємо лінійний діаметр скупчення за формулою (5.1):

$$D = \frac{d \cdot r}{206265''} = \frac{23 \cdot 60 \cdot 6920}{206265} = 46,3 \text{ пк,}$$

або $D = 151$ св. р.

Приклад 2. У спектрі галактики, що має видиму зоряну величину $m = 15,2$, лінія водню H_α ($\lambda = 6563 \text{ \AA}$) зміщена в червоний бік спектра на $\Delta\lambda = 219 \text{ \AA}$. Визначити швидкість віддалення галактики і відстань до неї, абсолютну зоряну величину і світність галактики.

Розв'язання. Знаходимо шукані швидкість і відстань, застосовуючи формулу (5.4),

$$V_r = zc = \frac{219 \text{ \AA}}{6563 \text{ \AA}} \cdot 3 \cdot 10^5 \text{ км/с} \approx 10^4 \text{ км/с,}$$

$$r = \frac{V_r}{H} = \frac{10^4 \text{ км/с}}{75 \text{ км} \cdot \text{с}^{-1}/\text{Мпк}} \approx 133 \text{ Мпк.}$$

Обчислюємо абсолютну зоряну величину і світність галактики за формулами (4.6) і (4.8): $M = m + 5 - 5 \lg r = 20,2 - 5 \lg (133 \times 10^6) = 20,2 - 40,6 = -20,4$; $\lg L = 0,4(4,79 - M) = 0,4(4,79 + 20,4) = 10,076$; $L \approx 12 \cdot 10^9$.

Приклад 3. Червоне зміщення ліній у спектрі квазара 5C 0256 становить $z = 2,38$. Визначити променеву швидкість цього об'єкта і відстань до нього в світлових роках.

Розв'язання. Знаходимо за графіком $z = f(v_r)$, що на мал. 32, швидкість віддалення даного квазара $V_r = 0,84$ с, або $V_r = 2,52 \times 10^5 \text{ км/с}$.

Обчислюємо шукану відстань, скориставшись формулами (5.6) і (5.7): $r = \frac{3 \cdot 10^5}{75} \times$

$$\times \frac{2,38}{1+2,38} = 2816,57 \text{ Мпк, або } r \approx 9,2 \cdot 10^9 \text{ св. р.;}$$

$$r = \frac{2 \cdot 3 \cdot 10^5}{75} \left(1 - \frac{1}{\sqrt{1+2,38}}\right) = 3648,0 \text{ Мпк, або } r = 11,9 \cdot 10^9 \text{ св. р.}$$

* *

5-1. Що таке Галактика? Назвіть відомі вам галактичні об'єкти.

5-2. Охарактеризуйте Галактику як зоряну систему щодо її маси, протяжності й структури.

5-3. Які дані спостережень свідчать про просторову сплюсненість основної частини Галактики?

5-4. Що являють собою розсіяні й кульові зоряні скупчення та асоціації? В чому їх істотна відмінність?

5-5. Розсіяне зоряне скупчення Плеяди (М 45) в сузір'ї Тельця знаходиться від нас на відстані $r = 130$ пк і має загальну видиму зоряну величину $m = 1,4$. Визначте абсолютну зоряну величину і світність цього скупчення.

5-6. Розсіяне зоряне скупчення М 50 в сузір'ї Єдинорога має загальну видиму зоряну величину $m = 6,3$, паралакс $\pi = 0,001$ і видимий кутовий діаметр $d = 10'$. Знайдіть відстань до цього скупчення та його лінійний діаметр і абсолютну зоряну величину.

5-7. Кульове зоряне скупчення М 13 має координати $\alpha = 16^h 39^m 9, \delta = +36^\circ 33'$, загальну

видиму зоряну величину $m=5,7$ і знаходить-
ся від нас на відстані $r=5$ кпк. Знайдіть
за допомогою зоряної карти, в якому
сузір'ї спостерігається це скупчення; обчис-
літь абсолютну зоряну величину і світність
скупчення.

5-8. Кульове зоряне скупчення М 5 в су-
зір'ї Змії має видиму величину $m=6,2$, абсо-
лютну зоряну величину $M=-7,90$ і видимий
кутовий діаметр $d=15'$. Визначте відстань до
цього скупчення та його лінійний діаметр і
світність.

5-9. У кульовому зоряному скупченні М 3,
яке видно під кутом $12,5'$, виявлено коротко-
періодичну цефеїду із середньою видимою зоря-
ною величиною $m=15,3$. Зважаючи на те, що
середня абсолютна зоряна величина таких
цефеїд $M \approx 0,5$, визначте відстань до цього
скупчення та його лінійний діаметр.

5-10. Зовнішня оболонка кожної планетар-
ної туманності складається майже цілком з
водню, а її центральною зорею, або ядром
туманності, є голубий карлик з дуже висо-
кою (кілька десятків тисяч градусів) темпера-
турою поверхні. Наявністю якого хімічного
елемента в такій туманності пояснюється її
зеленувате забарвлення?

5-11*. Планетарна туманність 6720 NGC в
сузір'ї Ліри має видимі кутові розміри $83'' \times$
 $\times 59''$ і знаходиться від нас на відстані
 $r=660$ пк. За останні 60 років радіус зовніш-
ньої газової оболонки туманності збільшився
приблизно на $1''$. Визначте лінійні розміри
цієї туманності та радіальну швидкість розши-
рення (в км/с) її оболонки в космічний
простір.

5-12*. Як відомо, світіння дифузних галак-
тичних туманностей обумовлено однією й тією ж
причиною — наявністю в їх межах зір ранніх
спектральних класів. Проте в спектрах світлих
газової і газопилової туманностей є добре
помітна відмінність. У чому полягає ця від-
мінність і чим вона пояснюється?

5-13. На кольоровому мал. 20 показано Ве-
лику туманність у сузір'ї Оріона (М 42) та
її емісійний спектр. Визначте за допомогою
таблиці IV, яким хімічним елементам належать
ототожені лінії даного спектра. Про що
свідчить різкість і чіткість ліній спектра та
належність деяких з них іонізованим атомам?

5-14. Зоря спектрального класу А2 з голов-
ної послідовності діаграми «спектр—світність»
перебуває в межах темної газопилової туман-
ності. Визначте, на скільки зоряних величин
послаблюється блиск цієї зорі внаслідок частко-
вого поглинання її випромінювання туманністю,
якщо паралакс цієї зорі $\pi=0,007$ і видима
зоряна величина $m=9,0$.

5-15. Нижче наведено короткий перелік
зоряних та інших об'єктів Галактики, а саме:
розсіяні зоряні скупчення, короткоперіодичні
цефеїди, зорі-гіганти ранніх спектральних кла-
сів, кульові зоряні скупчення, класичні цефеїди,
пилові й газові дифузні туманності, О-асоціації,
хмари міжзоряного нейтрального водню.

З'ясуєте, які з цих об'єктів входять до
складу галактичного диска і які з них характер-
ні для сферичної складової Галактики.

5-16. Кутова швидкість руху деякої хмари
міжзоряного водню навколо центра Галактики
 $\omega=18$ км/(с · кпк). Знайдіть за графіком
(див. мал. 31) відстань цієї хмари водню від

центра галактичного диска; обчисліть лінійну швидкість її колового руху.

5-17. Сонце здійснює коловий рух навколо центра Галактики на відстані $r=10$ кпк від нього. Беручи до уваги графік залежності $\omega=f(r)$, поданий на мал. 31, визначте такі кінематичні характеристики Сонця: а) кутову швидкість руху навколо центра Галактики в $\text{км}/(\text{с} \cdot \text{кпк})$; б) лінійну швидкість галактичного обертання (в $\text{км}/\text{с}$); в) період обертання навколо центра Галактики (в роках).

5-18. Наша Галактика містить понад 10^{11} зір, блиск кожної з яких у фотографічному світлі визначається в середньому абсолютною зоряною величиною $M_{\text{ф}}=6,6$. Знайдіть абсолютну фотографічну зоряну величину Галактики та її світність.

5-19. Що таке власний рух зорі та в яких одиницях він вимірюється?

5-20. Зоря 83 Геркулеса знаходиться від нас на відстані $r=100$ пк, її власний рух становить $\mu=0,12$. Чому дорівнює тангенціальна швидкість цієї зорі?

5-21. Власний рух зорі Барнарда в сузір'ї Змієносця становить $\mu=10,3$ (рік^{-1}), а її паралакс $\pi=0,546$. Визначте тангенціальну швидкість цієї зорі.

5-22. Швидкість просторового руху зорі (V) відносно Сонця дорівнює $60 \text{ км}/\text{с}$ і утворює з променем зору кут $\Theta=30^\circ$ (мал. 30). Знайдіть тангенціальну (V_t) і променеву (V_r) швидкості зорі.

5-23. Знайдіть числове значення і напрям променевої швидкості зорі відносно спостерігача, якщо лінія водню H_δ (довжина хвилі $\lambda=4101,7 \text{ \AA}$ в її спектрограмі зміщена в бік

червоного кінця спектра на величину $\Delta\lambda=0,65 \text{ \AA}$.

5-24. Паралакс і власний рух зорі відповідно дорівнюють $0,070$ і $0,24$. В момент спектрального спостереження цієї зорі лінія гелію з довжиною хвилі $\lambda=4471,7 \text{ \AA}$ виявилася зміщеною в бік фіолетового кінця спектра на $\Delta\lambda=0,45 \text{ \AA}$. Визначте тангенціальну (v_t), променеву (v_r) і просторову (v) швидкості даної зорі (відносно спостерігача).

5-25. Сонце, як відомо, рухається зі швидкістю $20 \text{ км}/\text{с}$ в напрямі апекса, положення якого визначається на небесній сфері координатами $\alpha=18^h00^m$, $\delta=+30^\circ$. Знайдіть цю точку на зоряній карті й зазначте сузір'я, якому вона належить.

5-26. Зоря, паралакс якої $\pi=0,040$, рухається зі швидкістю $v=80 \text{ км}/\text{с}$ під кутом 50° до променя зору, віддаляючись від спостерігача. Визначте власний рух зорі, спостережувану величину і напрям доплерівського зміщення ($\Delta\lambda$) лінії водню H_γ (довжина хвилі $4340,5 \text{ \AA}$) в її спектрі.

5-27. Розсіяне зоряне скупчення Гіади в сузір'ї Тельця знаходиться від нас в середньому на відстані 40 пк, а його власний рух у цілому $\mu=0,08$. Зорі скупчення рухаються в просторі паралельними шляхами, причому їх спектральні лінії зміщуються в червоний бік спектра. Обчисліть тангенціальну швидкість даного зоряного утвору. Зменшуватимуться чи збільшуватимуться з часом видимі розміри цього скупчення?

5-28*. Зоря ξ Геркулеса знаходиться приблизно в напрямі апекса Сонця, її паралакс $\pi=0,020$, власний рух $\mu=0,081$ і промене-

ва швидкість (відносно Сонця) становить -2 км/с. Враховуючи рух Сонячної системи в напрямі апекса зі швидкістю 20 км/с, визначте просторову швидкість згаданої зорі.

5-29. Знайдіть променеву швидкість Арктура (α Волопаса) за доплерівським зміщенням ліній у його спектрі (див. кольоровий мал. 21).

Розв'язання. Розглядаючи спектрограму, помічаємо, що лінії зоряного спектра, які тотожні лініям у спектрі порівняння, зміщені у фіолетовий бік спектра і, отже, зоря Арктур у зазначену дату одержання спектрограми наближається до спостерігача.

Знаходимо дисперсію (η) спектрограми; для цього вибираємо в ній ототоженні лінії, наприклад, $\lambda_0 = 4299,2$ Å та $\lambda_1 = 4325,8$ Å і вимірюємо з можливою точністю відстань між ними ($s = 44,5$ мм), маємо:

$$\eta = \frac{4325,8 - 4299,2}{44,5} = 0,60 \text{ Å/мм.}$$

Вимірюємо якнайточніше лінійну відстань між положеннями, припустимо, лінії $\lambda_1 = 4325,8$ Å в спектрах порівняння й зорі ($\Delta s_1 = 0,7$ мм) і обчислюємо величину доплерівського зміщення ($\Delta \lambda_1$) цієї лінії та променеву швидкість (v_{r1}) зорі відносно спостерігача:

$$\Delta \lambda_1 = \Delta s_1 \cdot \eta = 0,7 \cdot 0,60 = 0,42 \text{ Å, } v_{r1} =$$

$$= - \frac{\Delta \lambda_1}{\lambda_1} \cdot c = - \frac{0,42}{4325,8} \cdot 3 \cdot 10^5 = -29,12 \text{ км/с}$$

(c — швидкість світла у вакуумі).

Визначте аналогічним способом, вважаючи дисперсію спектрограми вже відомою, ще 2—3 значення променевої швидкості за зміщенням інших ліній, наприклад ліній з довжинами

хвиль $4299,2$, $4330,2$ і $4337,1$ Å. Знайдіть середнє значення променевої швидкості Арктура ($\bar{v}_r$) та абсолютної похибки ($\Delta \bar{v}_r$) і шуканий результат запишіть у вигляді $v_r = \bar{v}_r \pm \Delta \bar{v}_r$ (км/с).

Примітка. Окремі значення променевої швидкості зорі, що значно відрізняються від інших, не слід враховувати в остаточному результаті.

5-30. Визначте променеву швидкість Проціона (α М. Пса) відносно Землі за доплерівським зміщенням ліній у його спектрограмі (див. кольоровий мал. 22).

5-31. Що являють собою позагалактичні туманності? Назвіть деякі з них.

5-32. Галактика М 31 в сузір'ї Андромеди знаходиться від нас на відстані $r \approx 0,7$ Мпк, її видимий кутовий діаметр (по довжині) становить $200'$ і видима зоряна величина $m = 4,8$. Обчисліть лінійний діаметр, абсолютну зоряну величину і світність цієї галактики.

5-33. Які вам відомі способи визначення відстані до галактик і більш віддалених від нас позагалактичних об'єктів?

5-34. Спіральна галактика в сузір'ї Трикутника має видиму зоряну величину $m = 6,3$ і кутові розміри $83' \times 53'$. В її складі виявлено цефеїди з періодом зміни блиску $p = 60$ діб і середньою видимою фотографічною зоряною величиною $m_{\phi} = 20,2$. Взявши до уваги залежність «період—світність» (див. мал. 22), визначте відстань до цієї галактики (в кпк), а також її лінійні розміри і світність.

5-35. Як відомо, галактики за зовнішнім виглядом поділяються на три основних класи:

I — неправильні, E — еліптичні і S — спіральні.

Відповідно до цього виконайте класифікацію галактик, фотографії і позначення яких показано на кольоровому мал. 23; коротко охарактеризуйте представників кожного класу галактик щодо форми, внутрішньої структури, розподілу яскравості від периферії до центра і зовнішніх обрисів.

5-36. Що таке червоне зміщення в спектрах галактик? Чим воно визначається?

5-37. Запишіть і сформулюйте закон Хаббла. Яку особливість розбігання далеких галактик виражає стала Хаббла?

5-38. У спектрі однієї з галактик Маркаряна, яка має видиму фотографічну зоряну величину $m_{\phi} = 14,5$, лінія водню H_{α} (довжина хвилі $\lambda = 6563 \text{ \AA}$) зміщена в бік червоного кінця спектра на величину $\Delta\lambda = 210 \text{ \AA}$. Визначте швидкість віддалення (в км/с) цієї галактики, віддаль до неї (в Мпк) та її абсолютну фотографічну зоряну величину і світність.

5-39*. На кольоровому мал. 24 показано однотипні спектрограми чотирьох галактик із спостережуваними лініями K і H одноіонізованого кальцію. Лабораторна довжина хвилі лінії $H \text{ Ca}^+$ є $\lambda_H = 3968,5 \text{ \AA}$. Визначте доплерівське зміщення лінії $H \text{ Ca}^+$ в спектрі кожної галактики та променеві швидкості галактик і відстані до них. За здобутими даними побудуйте графік залежності $V_r = f(r)$.

Це завдання доцільно виконувати в такому порядку. Взявши за початок відліку фіолетовий край спектрограм, дістаньте відносно нього лінійну координату — відлік l шкали вимірної лінійки (чи більш точного приладу) — для

кожної ототожненої лінії спектра порівняння, а також аналогічні відліки для положень спостережуваної лінії $H \text{ Ca}^+$ у всіх чотирьох спектрограмах.

За відліками й відомими довжинами хвиль ліній спектра порівняння побудуйте на міліметровому папері дисперсійну криву $l = f(\lambda)$, яка, очевидно, буде загальною для наведених спектрограм.

Користуючись одержаною кривою і знайденими відліками положень лінії $H \text{ Ca}^+$ в 1—4 спектрограмах, визначте відповідні значення довжини хвилі цієї лінії в спектрах галактик:

$$\lambda_1 = \quad , \lambda_2 = \quad , \lambda_3 = \quad , \lambda_4 = \quad$$

Обчисліть тепер доплерівське зміщення взятої лінії кальцію в кожному випадку: $\Delta\lambda_1 = \lambda_1 - \lambda_H = \quad$, $\Delta\lambda_2 = \lambda_2 - \lambda_H = \quad$, $\Delta\lambda_3 = \lambda_3 - \lambda_H = \quad$, $\Delta\lambda_4 = \lambda_4 - \lambda_H = \quad$ і розв'яжіть іншу частину завдання.

5-40. Галактика $M 82$ має координати $\alpha = 9^h 51^m 9^s$ і $\delta = +69^\circ 56'$. Знайдіть її положення на карті Навчального зоряного атласа; в якому сузір'ї вона знаходиться? Що вам відомо про цю галактику, зокрема, до якого класу галактик вона належить і в чому полягає природа її потужного радіовипромінювання? Чи можна побачити дану галактику в телескоп шкільного типу?

5-41. Радіогалактика Лебідь-А знаходиться від нас на відстані $r = 200 \text{ Мпк}$ і спостерігається як самосвітний об'єкт, що має видиму зоряну величину $m = 18$. Визначте світність (L) і променеву швидкість (V_r) цієї галактики та величину червоного зміщення (z) ліній в її спектрі.

5-42. Найближчий до нас і найяскравіший квазар 3С 273 має координати $\alpha = 12^h 27^m$ і $\delta = +2^\circ 20'$. Параметр, що визначає червоне зміщення ліній у його спектрі, $z = 0,16$. В якому сузір'ї спостерігається цей квазар? Знайдіть швидкість віддалення цього об'єкта і відстань до нього (в Мпк).

5-43. Деякий квазар має абсолютну фотографічну зоряну величину близько $M_{\text{ф}} = -26$ і лінійний розмір приблизно 1200 а. о. Визначте світність цього квазара і порівняйте її із світністю нашої Галактики (див. відповідь до задачі 5—18). У скільки разів його лінійний розмір більший за середній діаметр орбіти Плутона?

5-44. На відміну від квазарів для найдалших відомих галактик червоне зміщення не перевищує 0,5 ($z \leq 0,5$). Серед них галактика 3С 295 — джерело радіовипромінювання — має червоне зміщення $z = 0,46$. Знайдіть, скориставшись відповідними формулами, швидкість віддалення цієї радіогалактики та відстань до неї в св. роках.

5-45. Величина червоного зміщення в спектрі квазара 3С 9 становить $z = 2,0$, а для квазара 4С 0534 цей параметр $z = 2,88$. Визначте за допомогою графіка $z = f(V_r)$ швидкість віддалення першого і другого квазарів та відстані до них (в Мпк), взявши до уваги формули (5.6) і (5.7).

5-46. Обчисліть швидкість віддалення квазізоряного радіоджерела ОQ 172 та відстань до нього (в млрд. світлових років), знаючи, що червоне зміщення в спектрі цього квазара $z = 3,53$.

5-47. Які емпіричні дані та їх наукові уза-

гальнення свідчать про реальне розширення Метагалактики в нашу епоху і, отже, про нестационарність спостережуваної частини матеріального світу?

5-48. Що являє собою міжзоряна матерія та яка її головна властивість?

5-49. Який висновок можна зробити на основі того, що до складу галактик входять як старі, так і молоді зорі та зоряні утвори?

5-50. В чому полягають сучасні уявлення про походження й еволюцію зір?

5-51. Назвіть відомі вам стадії розвитку зір. Що є джерелом енерговиділення зір на кожному етапі її еволюції?

5-52. Як можна пояснити походження білих карликів і пульсарів (нейтронних зір)?

5-53. Перелічіть закономірності в Сонячній системі, що вказують на ймовірну єдність виникнення планет навколо Сонця з газопилового допланетного диска.

5-54. В чому полягає суть сучасних космогонічних гіпотез про утворення нашої планетної системи?

5-55. Яким чином гіпотеза О. Ю. Шмідта пояснює: а) поступове перетворення газопилової хмари, що оточувала Сонце, в допланетний диск; б) поділ планет на різні за своїми фізичними властивостями групи — земну і юпітерову?

5-56. Що вам відомо про походження супутників планет і астероїдів, кометних форм і метеорних тіл?

5-57. Які явища спричинили розігрівання Землі після її первісного утворення з холодних пилкових частинок?

5-58. Які процеси і явища зумовили виник-

нення і сформування сучасних атмосфер у планет земної групи?

5-59. Оцініть за методом «уран—свинець» вік (t) земної породи, в якій на умовну одиницю маси припадає $m_U = 100$ мг природного урану (^{238}U) і $m_{\text{Pb}} = 40$ мг уранового свинцю (^{206}Pb); скористайтесь при цьому формулою

$$\frac{m_{\text{Pb}}}{m_U} = \frac{206(1 - e^{-\lambda t})}{238 \cdot e^{-\lambda t}},$$

де $\lambda = 1,54 \cdot 10^{-10}$ рік $^{-1}$ — стала розпаду урану-238, e — основа натуральних логарифмів.

5-60. Назвіть факти спостережень, що свідчать про матеріальну єдність Всесвіту; як треба розуміти нескінченність Всесвіту?

СПОСТЕРЕЖЕННЯ. (практичні заняття)

Проведення астрономічних спостережень, передбачених програмою, вимагає від учителя ретельної підготовки, починаючи від забезпечення повного відвідування учнями цих занять до визначення форми і обсягу учнівської звітності з кожного завдання. Досвідчений учитель при цьому заздалегідь готує собі з учнів-любителів астрономії кількох помічників, допомога яких завжди сприяє успіху спостережень, детально зважає об'єктивні обставини, в яких проходять заняття, з'ясовує правила техніки безпеки і ознайомлює з ними учнів.

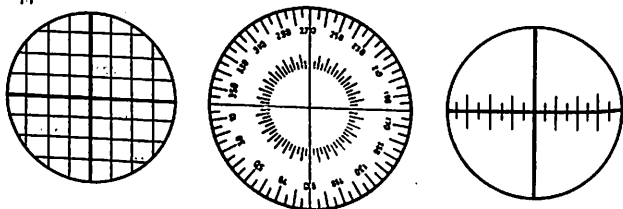
Важливо, щоб уроки спостереження мали

чітко сформульовану мету, були забезпечені відповідними оптичними приладами, передбачали використання допоміжних засобів і посібників, зокрема Шкільного астрономічного календаря і зоряної карти. Кращих результатів учитель досягає тоді, коли напередодні заняття повідомляє завдання чергового спостереження і вимоги до звіту, що його учні мають подати для перевірки й оцінки.

В. І. Ленін указував, що «в практику, яка служить нам критерієм у теорії пізнання, треба включити також практику астрономічних спостережень»¹. Отже, спостереженням необхідно надавати характеру живого споглядання і творчого пошуку, вдало поєднувати споглядальність з кутковими вимірюваннями, подальшими розрахунками та якісними оцінками.

Багато особливостей небесного об'єкта можна виявити, розглядаючи його в телескоп або в інший прилад (теодоліт, світлосильний бінокль, зорову трубу), оснащений відповідними пристроями. Так, застосування світлофільтрів (жовтого, червоного, блакитного та ін.) дає змогу точніше визначити кольори зір, яскравіше передати контрастність зображення великомасштабних деталей на дисках Місяця і планет. Якщо у фокальну площину окуляра шкільного телескопа помістити саморобний чи взятий від мікроскопа мікромір (див. мал. 33), то телескоп можна буде використати й для безпосередніх вимірювань куткових розмірів, наприклад, морів, великих кратерів і гірських хребтів на

¹ Ленін В. І. Повне зібр. творів, т. 18, с. 130.



Мал. 33. Приклади саморобних окулярних мікрометрів — тонких прозорих пластинок з поділками.

поверхні Місяця, розмірів дисків планет (Юпітера, Сатурна, Венери, Марса) на момент спостереження, світного кільця Сатурна тощо. За знайденими в такий спосіб даними і попередньо визначеним масштабом шкали мікрометра для кожного об'єкта неважко обчислити їхні лінійні розміри.

Разом з тим заняття-спостереження вимагають від учителя добре продуманих засобів та прийомів виховання і формування світогляду, активізації навчальної працездатності учнів.

Перше програмне спостереження зоряного неба рекомендується провести на початку навчального року в один із сприятливих для цього вечорів. Місцем заняття може бути майданчик, з якого добре видно весь небозвід і сторони горизонту.

Під час спостережень видимих сузір'їв і добового обертання небозводу, знаходження Полярної зорі і положень основних точок горизонту та з'ясування відмінності яскравих зір за блиском і кольором треба передусім звернути увагу учнів на численність зір і невпорядкованість їх взаємного розташування. Підкреслити, що все зоряне небо для зручності його вивчення з давніх часів так чи інакше поділяли

на сузір'я, яким дали певні назви; зазначити, що первісне виникнення назв сузір'їв, деяких яскравих зір і планет пов'язане з міфологією стародавньої Греції і Риму та з назвами тварин і знарядь праці в різних народів (Кассіопея, Персей, Лев, Терези і т. д.).

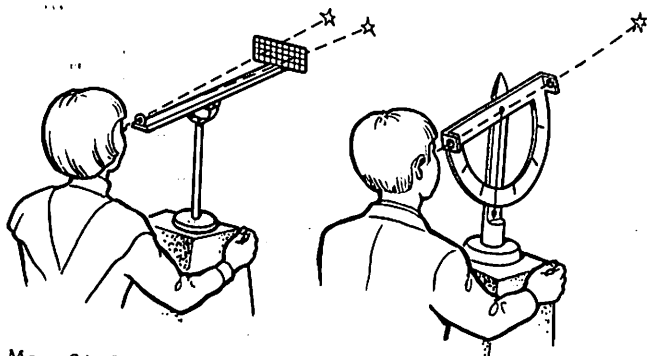
Вступна бесіда вчителя в такому плані завжди розвиває у школярів інтерес до зоряного неба і сприяє кращому запам'ятовуванню конфігурацій і назв зір та їх особливостей.

Вивчення основних видимих сузір'їв і зір великого блиску раціонально починати з відшукування сузір'я В. Ведмедиці та, використовуючи схему розміщення сузір'їв (див. перший форзац), інших сузір'їв навколополярної області неба. Потім слід ознайомити учнів зі спостережуваними сузір'ями, розміщеними в екваторіальній області й смугі зодіака.

Варто простежити, крізь які сузір'я пролягає Молочний Шлях — широка біляста смуга, що оперізує все небо¹, в яких сузір'ях він позірно роздвоюється та де саме найчіткіше виділяються його світлі ділянки і темні зони (туманності). Треба звернути увагу учнів на зростання концентрації видимих яскравих і слабких зір з переходом від галактичного полюса до середньої площини Молочного Шляху, що є свідченням просторової сплюсненості основної частини нашої зоряної системи.

Щоб полегшити орієнтування погляду школярів на який-небудь об'єкт спостереження,

¹ Весною Молочний Шлях спостерігати гірше, ніж восени.



Мал. 34. Вимірювання кутів між напрямками на світила.

Мал. 35. Спостереження з висотоміром.

бажано використовувати заздалегідь виготовлені кутомірні лінійки (мал. 34), рамки з поділом їх поля на клітки, висотоміри (мал. 35) та ін.

Під час вивчення найяскравіших зір (осіннього неба) необхідно, щоб учні зазначали в своїх блокнотах позначення і назву зорі, порівнювали (на око) її блиск з блиском Полярної й оцінювали колір, наприклад, так: α Візничого (Капелла) — чисто-жовта, α Ліри (Вега) — біла, α Орла (Альтаір) — жовтувато-біла, α Волопаса (Арктур) — оранжева, β Пегаса (Шеат) — червона і т. д. Оскільки за кольором можна дістати відомості про температуру зорі, тут доцільно повідомити учням, що середня температура поверхні червоної зорі приблизно дорівнює 3000° , оранжевої — 4000° , жовтої — 6000° , білої — $11\,000^\circ$ і т. ін.

До спостережень Місяця слід підготувати телескопи та інші прилади, схематичну карту місячного диска (див. другий форзац) з позна-

ченнями обрисів найпомітніших утворень і сторін світу в тому самому порядку взаємного розташування, в якому їх видно в полі зору оптичного приладу; скласти, враховуючи фазу Місяця, перелік 10—12 деталей місячної поверхні для візуального вивчення: морів, гірських хребтів, великих кратерів і цирків.

Вибір тут дуже багатий. Наприклад, в Океані Бур, де вперше здійснила посадку радянська АМС «Луна-9», цікаво розглянути величезний кратер Коперник із системою світлих радіальних променів і біля нього — кратер Кеплер з аналогічними променями. У Морі Дошів, де тривалий час проводив дослідницьку роботу «Луноход-1», привертають увагу цирко-гігант Архімед та кратери Арістілл і Автолк. На півдні, сході і півночі з Морем Дошів межують гірські хребти Карпати, Апенніни, Кавказ і Альпи, в південній частині Місяця добре спостерігається кільцева гора-цирк Тіхо, а в центральній області місячного диска — кратери Птолемей, Альфонс і Арзахель. Поблизу східного краю Місяця лежать Море Достатку, звідки радянська АМС «Луна-16» уперше в історії взяла пробу ґрунту і доставила її на Землю, та Море Криз, в якому «Луна-24» провела буріння на глибину близько двох метрів і дала нам нові зразки місячної речовини.

Вивчаючи рельєфні форми поверхні Місяця, бажано, як уже зазначалось, застосовувати світлофільтри й окулярний мікрометр до телескопа. Учні мають виміряти видимий кутовий діаметр місячного диска і, на вибір, протяжність якого-небудь моря, гірського хребта та поперечники 2—3 кратерів, щоб потім, удома, визначити лінійні розміри цих утворень.

На закінчення доцільно конкретизувати для учнів довгострокове завдання самостійного спостереження за рухом Місяця на фоні зоряного неба, за поступовою зміною його фаз та освітленості деяких областей і т. ін.

При візуальному спостереженні планет слід звертати увагу учнів на відтінки кольорів і яскравість свічення цих світил, робити якісне порівняння блиску планет і яскравих зір.

Розглядаючи Венеру в телескоп, варто зафіксувати розмір і форму її диска, або фазу, оцінити освітленість і колір тієї частини планети, куди пряме світло від Сонця не попадає. У системі Юпітера в шкільний телескоп добре видно чотири супутники, відкриті Галілеєм у 1610 р., а в системі Сатурна — кільце планети та її найбільший супутник Титан у вигляді світлової точки.

Уважне телескопічне спостереження дає змогу помітити сплюснутість Юпітера і Сатурна, хмарові темнуваті смуги, витягнуті паралельно екваторіальним площинам планет, *Червону Плям*у на Юпітері і поділ кільця Сатурна на концентричні частини.

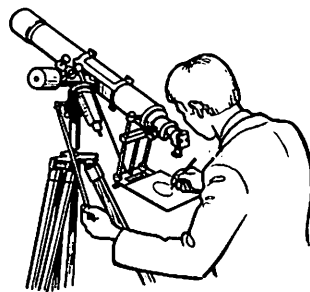
Корисно було б скопіювати видимі положення супутників відносно диска Юпітера і за зміною їх конфігурацій виявити рух супутників. За сприятливих обставин цікаво простежити проходження перед диском Юпітера або затемнення галілеєвого супутника, визначити тривалість цього явища. У випадку покриття зорі Сатурном важливо простежити за її блиском у час покриття кільцем планети.

Заняття на тему «Спостереження в телескоп плям і факелів Сонця» варто провести напередодні вивчення розділу «Сонце і зорі». Слід

наголосити, що потужне випромінювання без його попереднього послаблення дуже небезпечне для ока. Тому, спостерігаючи Сонце, потрібно обов'язково застосовувати надійні засоби захисту зору: димчасті стекла великої оптичної густини, наприклад, засвічені зі значною передержкою, хімічно оброблені і добре промиті фотопластинки та спеціальний сонячний окуляр з одночасним діафрагмуванням вхідного отвору труби телескопа приблизно до 0,3 її діаметра.

Проте в шкільних умовах вивчати Сонце доцільніше за зображенням його диска на екрані, прикріпленому до труби телескопа перпендикулярно до оптичної осі окуляра (мал. 36).

Дуже важливим елементом у візуальному вивченні Сонця є замальовування фотосферних утворів та дальша обробка замальовки. Для цього контур сонячного диска на екрані суміщають з накресленим колом і за допомогою ключів точного наведення телескопа зберігають таке незмінне положення доти, доки не буде зафіксовано вигляд поверхні Сонця з детальним відтворенням усіх плям, груп плям і обрисів кількох добре видимих факелів. На малюнку слід зазначити положення сторін світу (див. кольоровий мал. 25), дату і час спостереження Сонця, напрям добової паралелі, який збігається з



Мал. 36. Телескопічне спостереження фотосферних утворень на екрані.

напрямом переміщення чіткої плями в окресленому крузі (на екрані), коли труба телескопа нерухома.

Обробка виконаної замальовки може бути досить широкою щодо змісту й обсягу. Однак у даному разі доцільно обмежитись таким завданням: а) визначити за одержаним малюнком і формулою (4.3) плямотворну активність Сонця (число Вольфа); б) знайти лінійні розміри 2—3 плям та 1—2 факелів у радіусах Землі, вважаючи лінійний діаметр Сонця відомим.

Спостереження в телескоп подвійних зір, зоряних скупчень, туманності в Оріоні та інших об'єктів краще провести ранньою весною в безмісячний вечір (ніч).

У завдання з телескопічного вивчення фізичних подвійних та більшої кратності зір варто включити такі зорі-системи, як ξ В. Ведмединиці, α Близнят, ν Дракона, θ Тельця, α Гончих Псів та ін. При цьому рекомендується звертати увагу на взаємне розташування зір-компонентів, порівнювати їхні блиски й кольори.

Під час візуального вивчення зоряного неба потрібно з'ясувати положення на ньому основних елементів небесної сфери та їх відповідність основним точкам і лініям на Землі, приділити належну увагу формуванню в учнів навичок і вмінь орієнтуватися на небозводі за допомогою карти зоряного неба¹ (див. вкладку), визначати (наближено) напрям полуденної лінії й географічну широту місця за спостереженням Полярної зорі.

¹ Карту зоряного неба запозичено з [17].

ВІДПОВІДІ ДО ЗАДАЧ

- 1-5. 2,5 см; 1 см.
 1-6. 1; 10; 80,40 і 28,6;
 1''75; $\approx 12''$ 0.
 1-7. 5,4 мм.
 1-8. 1; 10; 70 і 25; 2''0;
 11'' 7.
 1-9. 0''023; 21'' 4.
 1-10. 1; 15; 25 разів; 11'' 0.
 1-11. 1; 15; 120, 75 і 30 разів; α Скорпіона та γ Дельфіна.
 1-12. 16,5 м; 0''028.
 1-13. ≈ 4 мм.
 1-14. 14,54 мм і 23,27 мм;
 41''3 . мм⁻¹.
 1-17. 25120.
 1-18. 5'' 21.
 1-19. 1'' 58.
 1-20. 3'' 19.
 1-21. 4'' 9; 3'' 6.
 1-28. 49°39'; 39°22'; 29°17'.
 1-37. +51°29', 5; -13°47', 3.
 1-49. 18'' +66°33'.
 1-54. 49°13'.
 1-55. 21°34'; 38°18'.
 1-57. 52°30'.
 1-62. +56°53'; 40°49'.
 1-63. +57°19'; +55°41'.
 1-64. Незаходячі Тубан і Шедар.
 1-65. 43°09'; 16°13'; 32°50';
 71°44'.
 1-66. 62°01'; 7°24'.
 1-67. $\delta_{\odot} = +4^{\circ}45'$.
 1-68. +74°6'; 51°1'.
 1-69. +82°49'; 42°39'.
 1-71. 11°11'; 78°09'.
 1-72. 0°; 23°27'; -23°27';
 66°33'.
 1-73. 66°33'; +23°27'.
 1-74. Скористатись умовами несходження і незаходження світил (див. умову задачі 1-64); не сходить над горизонтом Архангельська.
 1-75. Для Хабаровська від +41°32' до +90°; для м. Чкалова від -38°15' до -90°.
 1-76. Сухумі — від +47°00' до -47°00'; Охотськ — від +30°39' до -30°39'.
 1-77. -19°56'; -13°13'; -4°31'.
 1-78. 60°14' 5 (при $\delta_{\odot} = +22^{\circ}45' 5$).
 1-80. 68°49'; 77°58'.
 1-82. Поправка $u = T_m - T_m^{\text{пол}} = +4''$.
 1-83. 2''26'' 3.
 1-84. 39°12'.
 1-85. 7'' 31'' 5; 2'' 02'' 0; -5'' 29'' 5.
 1-87. Ташкент 14'' 36'' ; Львів 11'' 35'' .

- 1-88. $-8^m,8; +36^m,5; +6^m,3$.
- 1-89. При $\eta = +9^m35^s$:
 $12^h09^m35^s$; $11^h55^m59^s$;
 $12^h55^m59^s$.
- 1-90. Відповідно: 12^h49^m2 ;
 12^h30^m0 ; 13^h30^m0 .
- 1-91. Монтевідео 23^h .
- 1-92. При $\eta = +6^m4$:
 16^h00^m6 ; 15^h49^m3 ;
 17^h49^m3 .
- 1-93. $\lambda = 11^h14^m10^s$;
 12^h13^h .
- 1-94. $\tau = 2^h07^m0$.
- 1-99. 27 червня 1709 р.
- 2-14. $\approx 116,8$ доби.
- 2-17. $0,307$ а. о.; $0,467$ а. о.
- 2-18. $e = 0,0167$; $152,1 \times 10^6$ км.
- 2-20. $e = 0,0932$; $1,21$.
- 2-21. $9,65$ км/с; $29,77$ км/с.
- 2-22. $47,80$ км/с; $24,12$ км/с; $5,44$ км/с.
- 2-23. $1,9 \cdot 10^9$ км²/с;
 $5,1 \cdot 10^9$ км²/с; $9,8 \times 10^9$ км²/с.
- 2-25. $46^\circ43'$; $0,0069$; $35,24$ км/с; $34,76$ км/с.
- 2-26. $1,456$ р.; $0,472$ а. о. і $2,098$ а. о.
- 2-27. $a = 17,95$ а. о.; $35,308$ а. о. і $0,592$ а. о.; $59,6$.
- 2-28. 62700 км і 63750 км;
 $0,8828$ і $0,8831$;
 49^h12^m .
- 2-29. $3,1$ а. о.; $0,6774$;
 997 діб.
- 2-30. 35805 км.
- 2-31. $v_2 : v_1 \approx 1,1$.
- 2-32. $\approx 2,31$ а. о.
- 2-33. $0,1865$ а. о.; $93,1$ км/с;
 $9,33$ р.
- 2-34. 885 .
- 2-35. $292,7$; $1,023$ км/с.
- 2-36. $7,28 \cdot 10^{22}$ кг; роз-
біжність — наслідок
збурюючого впливу
Землі і Сонця на рух
супутника.
- 2-37. $\approx 3,55 \cdot 10^{22}$ Н.
- 2-38. 398650 км³/с².
- 2-39. $6,05$ (раза).
- 2-40. $346\,000$ км (від цент-
ра Землі).
- 2-41. $2,26 \cdot 10^{17}$ Н (у бік
Юпітера).
- 2-42. $\approx 0,6$ см/с².
- 2-43. Період збільшиться
в $1,62$ раза.
- 2-48. $5,06 \cdot 10^{-7}$ м/с²;
 $g_\oplus : j_\oplus \approx 1,94 \cdot 10^7$.
- 2-49. $j_\oplus : j_\oplus = 2,18$.
- 2-50. Приблизно в $1,4$ ра-
за.
- 2-52. 6356775 м.
- 2-54. ≈ 60000 км.
- 2-55. 891 км.
- 2-56. $1977,4$ км.
- 2-57. $111,230$ км (на 1°);
 6373010 м.
- 2-58. $\approx 3,32 \cdot 10^{23}$ кг;
 $\approx 5,5$ г/см³.
- 2-59. $5,977 \cdot 10^{24}$ кг; 5446
кг/м³.
- 2-60. $1,64$ м/с².
- 2-61. $0,3$ м/с².
- 2-63. $\omega_\oplus = 15^\circ04$ год⁻¹.
- 2-65. 465 м/с; 426 м/с;
 185 м/с.
- 2-66. $13^\circ02$ год⁻¹; $11^\circ32$
год⁻¹.
- 2-67. $56,7 \cdot 10^6$ км.
- 2-68. $\pi_\oplus = 8^\circ794 \approx 8^\circ8$.
- 2-69. $\approx 60,3 R_\oplus$.
- 2-70. $54'43,7$.
- 2-71. $\approx 91,7 \cdot 10^6$ км;
 $\approx 14^\circ35$.
- 2-72. $41,44 \cdot 10^9$ км;
 $257,76 \cdot 10^6$ км.

- 2-73. $28'31,5$.
- 2-74. $1'4''$.
- 2-75. $0,53 R_\oplus$.
- 2-76. $115,1$ (радіуса Ве-
нери).
- 2-77. $\approx 3,85 R_\oplus$;
 $1,41$ г/см³.
- 3-7. $-43,2$ км/с.
- 3-11. ≈ 9 ; 80 ; ≈ 1 ; 47 .
- 3-16. $4,2$ (раза).
- 3-17. $3,2 \cdot 10^{17}$ см⁻³.
- 3-21. $\approx 1,77$ км/с і $3,53$
км/с (достатні).
- 3-22. $n < 4,85 \cdot 10^5$ см⁻¹.
- 3-23. $\approx 6,7 \cdot 10^5$ лк;
 $\approx 4,3 \cdot 10^4$ лк.
- 3-28. $\approx 5,1$ км/с.
- 3-29. $24^\circ39'5$; $668,7$ (діб).
- 3-31. $+24^\circ8$ і $-24^\circ8$;
 $+65^\circ2$ і $-65^\circ2$.
- 3-32. 647 м/с; 365 м/с;
 $1,87 \cdot 10^{17}$ см⁻³.
- 3-34. Близько 12% .
- 3-40. $v_\oplus - v_H = 9,84$ км/с.
- 3-56. $3,7$ км.
- 3-58. ≈ 70 (разів).
- 3-62. $1,61$ г/см³; $1,56$ м/с²;
 $3,06$ км/с.
- 4-3. $3,85 \cdot 10^{23}$ кВт.
- 4-4. $6,42 \cdot 10^4$ кВт;
 24 (разів).
- 4-5. $1,76 \cdot 10^{14}$ кВт;
 $29,3 \cdot 10^6$ (разів).
- 4-9. 435 км.
- 4-13. $2,02$ км/с; 863 м/с.
- 4-20. 469900 ; 772700 .
- 4-27. Приблизно в 4 рази.
- 4-28. 200 пк або $652,3$ св.
р.; $23,8$ пк або $77,7$
св. р.
- 4-30. -0^m60 ; -3^m65 ;
 $+2^m10$.
- 4-31. $190,5$; $0,27$; $666,5$.
- 4-33. -0^m51 .
- 4-34. $11,2$ а. о.
- 4-35. $2,38 M_\odot$.
- 4-36. $2,0 M_\odot$.
- 4-37. $1,52 M_\odot$; $0,91$ і
 $0,61 (M_\odot)$.
- 4-40. $P = 24^d40^m$; $69,12$
км/с; $0,153$ а. о.
- 4-41. $5,58 \cdot 10^{-3}$ а. о.;
 874 км/с.
- 4-45. $3,02$ і $2,29$ (раза).
- 4-48. $\approx 4,2$ кпк.
- 4-49. -4^m6 ; $\approx 2,3 \cdot 10^6$
св. р.
- 4-52. $19\,050$ (разів).
- 4-53. $\approx 4 \cdot 10^8$.
- 4-54. 331100 ; 9120 ; 100 .
- 4-55. 272900 ; $346,7$ пк.
- 4-56. $3,28 \cdot 10^9$.
- 4-66. $2,6 M_\odot$; гол. послі-
довність, V (кл. світ-
ності).
- 4-68. $1,8 M_\odot$; 275 м/с²;
 $1,05$ г/см³.
- 4-69. $1,14 M_\odot$; $0,86 R_\odot$.
 $2,53$ г/см³; $4,56 \cdot 10^{23}$
кВт; гол. послідов-
ність, V (кл. світ-
ності).
- 4-70. $\approx 1,7 \cdot 10^7$ К;
 ≈ 175 г/см³; F9V.
- 4-71. 18000 К, -1^m17 і
 $3,48 R_\odot$; -1^m74 і
 -2^m91 , $5,8 M_\odot$ і
 $0,2$ г/см³; 131 м/с² і
 $4,39 \cdot 10^{26}$ кВт.
- 5-5. -4^m17 ; 3837 .
- 5-6. 1000 пк; $9,5$ св. р.;
 -3^m70 .
- 5-7. -7^m80 ; 108600 .
- 5-8. 6607 пк; $28,8$ пк;
 119100 .
- 5-9. $9,12$ кпк; $33,2$ пк.
- 5-11. $0,27 \times 0,19$ (пк);
 ≈ 52 км/с.
- 5-14. Блиск послаблюєть-
ся на 2^m8 .

5-16. 12,6 кпк; 227 км/с.
 5-17. 25 км/(с · кпк);
 250 км/с; 2,46 · 10⁸
 (років).
 5-18. -20^m 9; 39,45 · 10⁹.
 5-20. 56,88 км/с.
 5-21. 89,42 км/с.
 5-22. 30,0 км/с; 51,96 км/с.
 5-23. 47,54 км/с (від
 спостерігача).
 5-24. 16,25 км/с; -30,19
 км/с; 34,29 км/с.
 5-26. 0^m 52 рік⁻¹; +0,74 Å
 (у бік червоного кін-
 ця спектра).
 5-27. 15,17 км/с; зменшу-
 ватимуться.
 5-28. 26,32 км/с.
 5-32. ≈ 133000 св. р.;
 -19^m 43; 4,9 · 10⁹.
 5-34. $M_{ф.ц.} = -4^m 05$; 707,9
 кпк; 17091,3 × 10913,7

(пк); 1,25 · 10⁹.
 5-38. 9600 км/с; 128 Мпк;
 $M_{ф.} = -21^m 0$;
 43,25 · 10⁹.
 5-41. 2,1 · 10⁹; 15000
 км/с; $z = 0,05$.
 5-42. 44,2 · 10³ км/с;
 589,3 Мпк.
 5-43. 43,25 · 10¹¹; $L \approx$
 $\approx 110 L_{\odot}$; 15,2 (раза).
 5-44. 10,84 · 10⁴ км/с;
 4,11 · 10⁹ св. р.;
 4,49 · 10⁹ св. р.
 5-45. 2,4 · 10⁵ км/с;
 2670 Мпк; 3380 Мпк;
 2,63 · 10⁵ км/с; 2970
 Мпк; 3940 Мпк.
 5-46. 2,72 · 10⁵ км/с;
 $\approx 10,2 \cdot 10^9$ св. р.;
 $\approx 13,8 \cdot 10^9$ св. р.
 5-59. $t \approx 2,5 \cdot 10^9$ років.

ДОДАТКИ

Таблиця 1.

Деякі астрономічні сталі

Астрономічна одиниця (а. о.)	149,6 · 10 ⁶ км
Світловий рік (св. р.)	63240 а. о.
Парсек (пк)	206265 а. о.
Сидеричний рік	365 ^d 2564 середн.
Сидеричний місяць	27 ^d 7 ^h 43 ^m 2 середн.
Швидкість світла у вакуумі	2,998 · 10 ⁸ м/с
Стала Стефана—Больцмана	5,67 · 10 ⁻⁸ Вт/ (м ² · К ⁴)
Гравітаційна стала	6,67 · 10 ⁻¹¹ Н · м ² /кг ²
Геоцентрична гравіт. стала ($GM_{\odot}$)	398603 км ³ /с ²
Геліоцентрична гравіт. стала ($GM_{\odot}$)	132718 · 10 ⁹ км ³ /с ²

Відношення мас Сонця і Землі ($M_{\odot}/M_{\oplus}$) 332958
 Відношення мас Землі і Місяця
 ($M_{\oplus}/M_{\text{л}})$ 81,30

Земля:
 Маса 5,98 · 10²⁴ кг
 Екваторіальний радіус 6378,160 км
 Стиск 1 : 298,25
 Сонце:
 Маса 1,99 · 10³⁰ кг
 Радіус 6,96 · 10⁵ км
 Середній горизонтальний паралакс 8^m 794
 Середня густина 1410 кг/м³
 Видима візуальна зор. величина -26^m 78
 Абсолютна візуальна зор. величина +4^m 79
 Абсолютна фотографічна зор. вели-
 чина +5^m 59
 Температура поверхні 5800 К
 Відстань від центра Галактики 10 000 пк
 Місяць:
 Маса 7,35 · 10²² кг
 Радіус 1736,7 км
 Середній горизонтальний пара-
 лакс 57' 2,7
 Середня відстань від Землі 384400 км
 Середня густина 3350 кг/м³
 Прискорення сили тяжіння (біля
 поверхні) 1,62 м/с²
 Швидкість критична (звільнення) 2,38 км/с

Таблиця II

Годинні пояси на території СРСР

Номер, л ^а	Позна- чення	Назва	Номер, л ^а	Позна- чення	Назва
2	II	Московський	7	VII	Іркутський
3	III	Волзький	8	VIII	Амурський
4	IV	Уральський	9	IX	Приморський
5	V	Західно- сибірський	10	X	Охотський
		Енісейський	11	XI	Камчатський
6	VI		12	XII	Чукотський

Таблиця III

Фізичні характеристики планет та елементи їх орбіт

Назва і позначення планети	Екваторіальний діаметр ($D_{\oplus} = 1$)	Маса ($M_{\oplus} = 1$)	Критична швидкість на поверхні, км/с	Період обертання навколо осі	Нахил екватора до орбіти	Середній період обертання, рік	Середня відстань від Сонця, а. о.	Середній синодичний період, доба	Нахил орбіти до екліптики
☿ Меркурій	0,38	0,055	4,3	58 ^d 6	(7°)	0,241	0,387	115,9	7°00', 2
♀ Венера	0,95	0,815	10,4	243 ^d 16	177°	0,615	0,723	583,9	3°23', 6
⊕ Земля	1,00	1,000	11,2	23 ^h 56 ^m 04 ^s	23°27'	1,000	1,000	—	—
♂ Марс	0,53	0,107	5,0	24 ^h 37 ^m 23 ^s	24°48'	1,881	1,524	779,9	1°51', 0
♃ Юпітер	11,17	317,84	60,4	9 ^h 50 ^m 5	3°04'	11,86	5,203	398,9	1°18', 4
♄ Сатурн	9,39	95,17	36,2	10 ^h 14 ^m	26°45'	29,46	9,555	378,1	2°29', 5
♅ Уран	3,92	14,59	21,8	10 ^h 42 ^m	98°0	84,02	19,22	369,7	0°46', 4
♆ Нептун	3,89	17,25	23,5	15 ^h 48 ^m	29°	164,8	30,11	367,5	1°46', 5
♇ Плутон	0,22	0,002	?	6 ^h 4	?	247,7	39,44	366,7	17°08', 4

Таблиця IV

Деякі спектральні лінії оптичного інтервалу довжин хвиль

Довжина хвилі		Хім елемент	Довжина хвилі		Хім. елемент
Å	nm		Å	nm	
7046,8	704,68	Nb	5183,6	518,36	Mg
6973,3	697,33	Cs	5172,7	517,27	Mg
6870,2	687,02	O	5171,6	517,16	Ca
6767,8	676,78	Ni	5169,0	516,90	Fe
6661,4	666,14	Ni	5167,5	516,75	Fe
6609,1	660,91	Fe	5167,3	516,73	Mg
6562,8	656,28	H	5035,3	503,53	Ni
6462,6	646,26	Ca	4962,3	496,23	Sr
6341,7	634,17	Ba	4957,6	495,76	Fe
6303,8	630,38	Ti	4891,5	489,15	Fe
6278,1	627,81	O	4861,3	486,13	H
6243,4	624,34	Al	4842,1	484,21	Al
6162,2	616,22	Ca	4832,1	483,21	Sr
6030,7	603,07	Mo	4714,4	471,44	Ni
5983,6	598,36	Rh	4703,0	470,30	Mg
5895,9	589,59	Na	4685,8	468,58	He
5890,0	589,00	Na	4668,0	466,80	Fe
5875,6	587,56	He	4666,8	466,68	Al
5711,1	571,11	Mg	4607,3	460,73	Sr
5631,7	563,17	Sn	4471,7	447,17	He
5593,2	559,32	Al	4455,9	445,59	Ca
5557,1	555,71	Al	4383,6	438,36	Fe
5476,9	547,69	Ni	4351,9	435,19	Mg
5383,4	538,34	Fe	4340,5	434,05	H
5324,2	532,42	Fe	4325,8	432,58	Fe
5353,4	535,34	V	4307,9	430,79	Fe
5341,1	534,11	Mn	4307,7	430,77	Ca
5341,0	534,10	Ta	4305,4	430,54	Sr
5324,5	532,45	Mo	4275,1	427,51	Cu
5302,3	530,23	Mn	4235,9	423,59	Fe
5302,2	530,22	V	4226,7	422,67	Ca
5281,7	528,17	Ni	4221,1	422,11	Re
5273,2	527,32	Fe	4215,5	421,55	Sr
5269,6	526,96	Fe	4209,4	420,94	Cr

Таблиця IV (продовження)

Довжина хвилі		Хім. елемент	Довжина хвилі		Хім. елемент
А	нм		А	нм	
4158,0	415,80	C	3961,5	396,15	Al
4143,8	414,38	He	3944,0	394,40	Al
4132,1	413,21	Fe	3933,7	393,37	Ca
4121,5	412,15	Bi	3922,9	392,29	Fe
4120,8	412,08	He	3914,3	391,43	Ti
4101,7	410,17	H	3912,3	391,23	Ni
4083,6	408,36	Mn	3902,9	390,29	Cr
4077,7	407,77	Sr	3897,9	389,79	Fe
4071,7	407,17	Fe	3889,1	388,91	H
4063,5	406,35	Mn	3888,7	388,87	He
4057,5	405,75	Mg	3886,3	388,63	Fe
4048,8	404,88	Cr	3884,4	388,44	Fe
4045,8	404,58	Fe	3875,8	387,58	Ca
3970,1	397,01	H	3865,5	386,55	Os
3968,5	396,85	Ca	3859,9	385,99	Fe
3964,7	396,47	He	3858,3	385,83	Ni

Примітка: Докладно про спектральні лінії йдеться в [29].

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Агекян Т. А. Звезды, галактики, Метагалактика. М., Наука, 1970. 336 с.
2. Астрономический календарь. Постоянная часть. М., Наука, 1981. 704 с.
3. Бакулин П. И. и др. Курс общей астрономии. М., Наука, 1977. 543 с.
4. Боярченко І. Х. та ін. Астрономія. К., Вища школа, 1976. 320 с.
5. Бронштейн В. А. Гипотезы о звездах и Вселенной. М., Наука, 1974. 384 с.
6. Воронцов — Вельяминов Б. А. Астрономія. К., Рад. школа, 1983. 134 с.
7. Воронцов — Вельяминов Б. А. Очерки о Вселенной. М., Наука, 1980. 672 с.
8. Гулак Ю. К., Сандакова Є. В. Фізика космосу, К., Рад. школа, 1976. 175 с.
9. Дагаев М. М. Наблюдения звездного неба. М., Наука, 1978. 176 с.
10. Ефремов Ю. Н. В глубины Вселенной. М., Наука, 1977. 224 с.

11. Зигель Ф. Ю. Сокровища звездного неба. М., Наука, 1976. 304 с.
12. Климишин І. А. Релятивістська астрономія. К., Наукова думка, 1980. 199 с.
13. Климишин І. А. Астрономія наших дней. М., Наука, 1980. 456 с.
14. Климишин І. А. Астрономія вчора й сьогодні. К., Наук. думка, 1976. 285 с.
15. Климишин І. А. Небо нашої планети. К., Вища школа, 1979. 204 с.
16. Климишин І. А. Календарь и хронология. М., Наука, 1981. 192 с.
17. Климишин І. А. Перлины зоряного неба К., Рад. школа, 1981. 142 с.
18. Куликовский П. Г. Справочник любителя астрономии. М., Наука, 1971. 632 с.
19. Левитан Е. П. Астрофизика — школьникам. М., Просвещение, 1977. 112 с.
20. Маров М. Я. Планеты Солнечной системы. М., Наука, 1981. 255 с.
21. Мартынов Д. Я. Курс общей астрономии. М., Наука, 1979. 640 с.
22. Навашин М. С. Телескоп астронома-любителя, М., Наука, 1979. 440 с.
23. Над чем думают физики (сб.), вып. 6. Астрофизика. М., Наука, 1967. 237 с.
24. Струве О. и др. Элементарная астрономия. М., Наука, 1967. 482 с.
25. Цесевич В. П. Что и как наблюдать на небе. М., Наука, 1979. 302 с.
26. Чепрасов В. Г. Практикум з курсу загальної астрономії К., Вища школа, 1976. 256 с.
27. Шкловский И. С. Звезды. М., Наука, 1977. 384 с.
28. Астрономический календарь (ежегодник). Переменная часть. М., Наука, 1977. 800 с.
29. Зайдель А. Н. и др. Таблицы спектральных линий. М., Наука, 1977. 800 с.
30. Короткий астрономічний календар. К., Наук. думка, видається щорічно.
31. Марденский А. Д. Учебный звездный атлас. М., Просвещение, 1970. 32 с., карт.
32. Михайлов А. А. Атлас звездного неба. Л., Наука, 1974. 50 с. и 20 карт.
33. Осипов О. К. Карта зоряного неба. К., Рад. школа, 1983.
34. Школьный астрономический календарь (ежегодник). М., Просвещение.
35. Bečvář A. Atlas Coeli II — Katalog 1950,0 Praha, 1964. 370 с.

З М І С Т

Передмова	3
I. Вступ	5
II. Будова Сонячної системи	37
III. Фізична природа тіл Сонячної системи	59
IV. Сонце і зорі	77
Комплексне завдання «Зорі»	105
V. Будова і еволюція Всесвіту	109
Спостереження (практичні заняття)	126
Відповіді до задач	135
Додатки	138
Список рекомендованої літератури	142

Василий Георгиевич Чепрасов
Задания, вопросы и задачи по астрономии

Пособие для учителей
(на украинском языке)
Киев, «Радянська школа».

Зав. редакцією фізики *В. П. Йора*. Редактор *С. І. Карнаух*.
Літредактор *О. В. Коваль*. Художній редактор *Г. І. Грибова*.
Обкладинка художника *Л. Б. Сергія*. Технічний редактор
А. Г. Фрідман. Коректор *А. Н. Кривошея*.

Інформ. бланк № 3779

Здано до набору 27.06.83. Підписано до друку 13.01.84. БФ 10 572
Формат 70×90/32. Папір офсет. № 1. Гарнітура літерат. Спосіб друку
офсет. Умовн. арк. 5,27+0,88 вкл.+0,15 форз. Умовн. фарбо-відб. 8,46.
Обл.-видавн. арк. 5,16+1,14 вкл.+0,19 форз. Тираж 14 000 пр.
Видавн. № 28 128 Зам. № 3—191. Ціна 50 к.

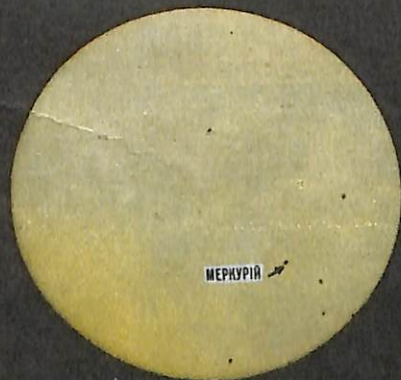
Видавництво «Радянська школа». 252053. Київ,
Ю. Коцюбинського, 5.

Віддруковано з текстових діапозитивів Головного підприємства РВО
Поліграфкига» на Київській книжковій фабриці «Жовтень». 252053.
Київ, вул. Артема, 25



Мал. 1. Вигляд планети Юпітер у сильний телескоп.

Мал. 2. Проходження Меркурія по диску Сонця
9 травня 1970 р.





Мал. 3. Ділянка спектрограми Сонця.

Мал. 4. Спектри двох зір (1, 2) і спектр порівняння.

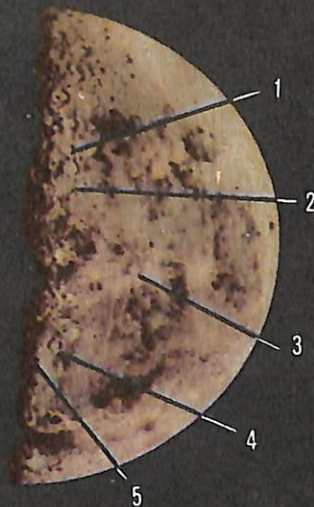


Мал. 5. Ділянка поверхні планети Венера.



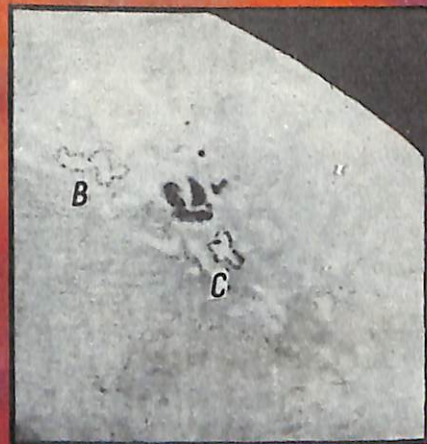
Мал. 6. Вигляд Сатурна в сильний телескоп.

Мал. 7. Місяць в останній чверті. Кратери: 1 — Арзахель, 2 — Птолемеї, 3 — Коперник, 4 — Архімед, 5 — Арістіїл.





Мал. 8. Фотографія Фобоса — супутника Марса.

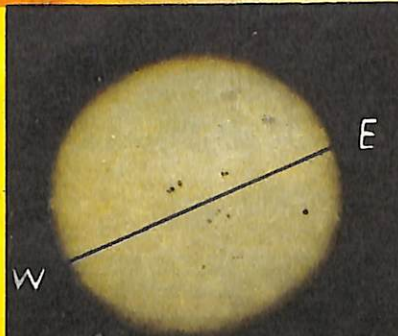
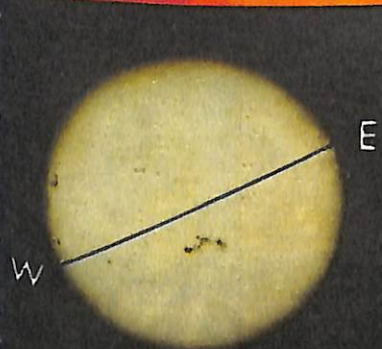
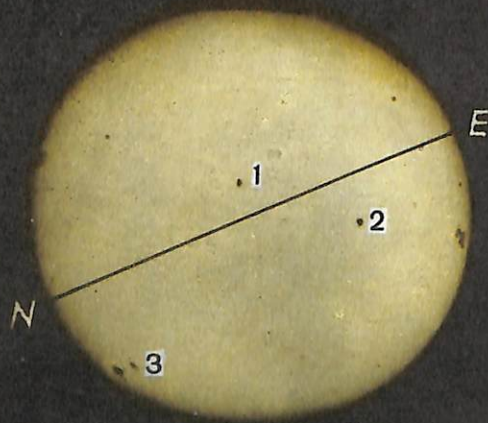


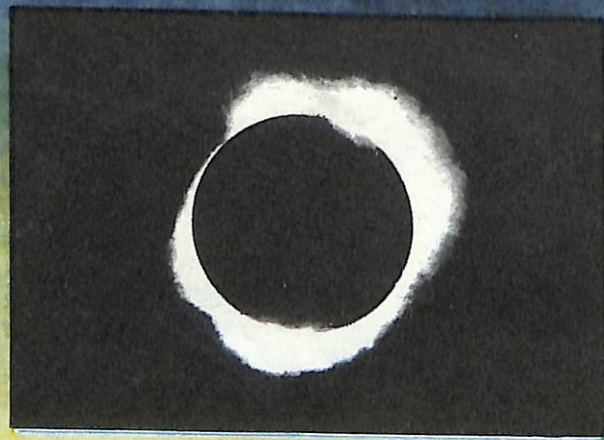
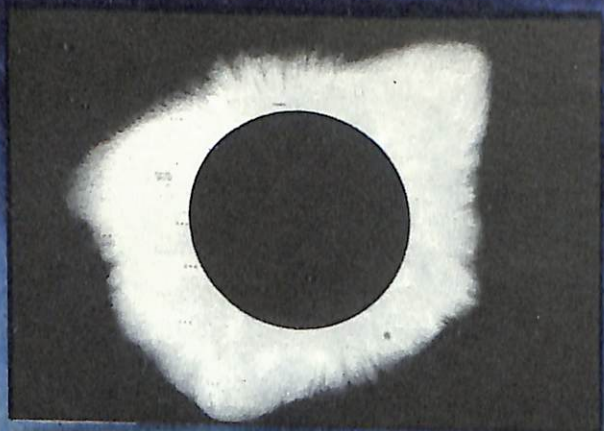
Мал. 10. Факельне поле в околі групи сонячних плям.
Масштаб: 1 мм — 8 000 км.

Мал. 11. Фотографії поверхні Сонця 11 листопада
і 18 грудня 1980 р.

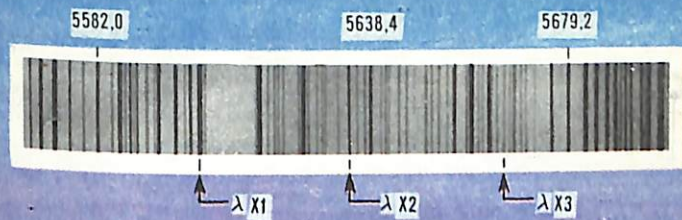


Мал. 9. Фотографія
Сонця 30 червня
1977 р.

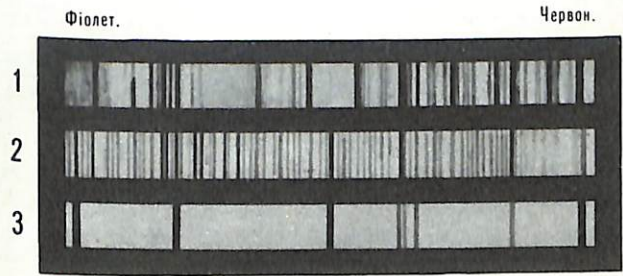




Мал. 12. Внутрішня корона Сонця 25.II.1952 р.
і 19.VI.1978 р.

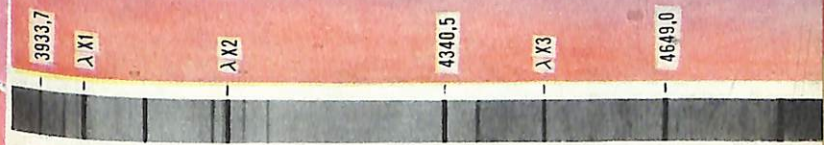


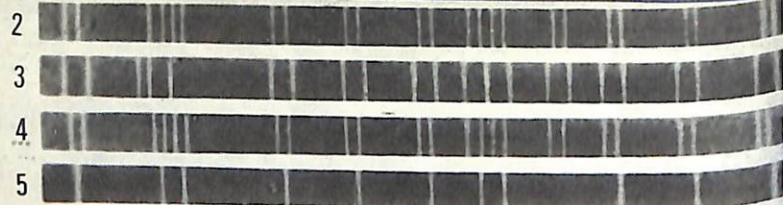
▲ Мал. 13. Ділянка спектра Сонця.



▲ Мал. 14. Спектри різних зір.

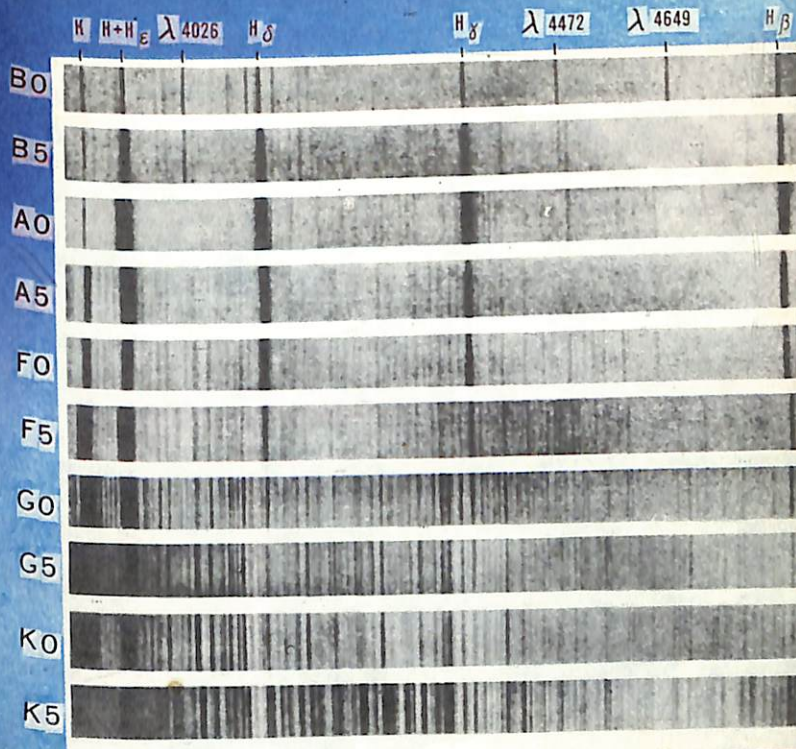
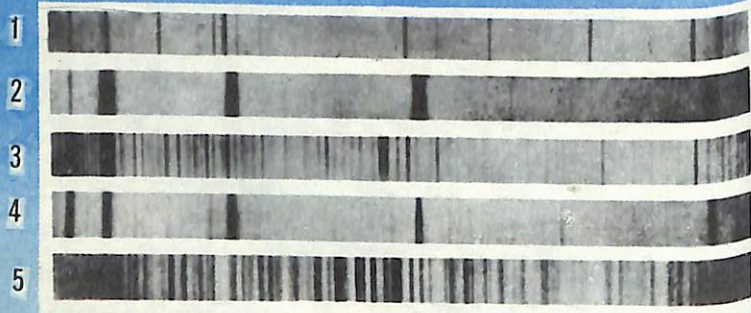
▼ Мал. 15. Спектрограма зорі ξ Персея.



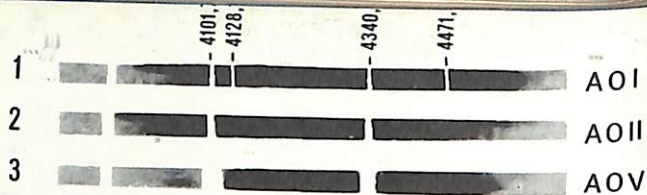


Мал. 16. Спектрограми (негативи) спектрально-подвійної зорі в такі моменти фотографування спектра:
 1 — 1.IV о 1^h20^m; 2 — 4.IV о 1^h25^m; 3 — 7.IV о 1^h30^m;
 4 — 10.IV о 1^h35^m; 5 — 13. IV о 1^h40^m.

Мал. 17. Спектри зір різних спектральних класів.

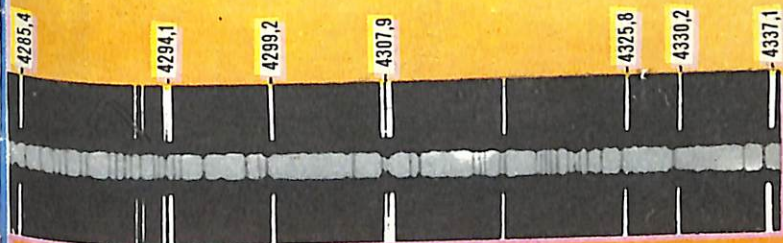


Мал. 18. Зоряні спектри-стандарти.



Мал. 19. Фотознімки спектра трьох зір одного й того самого спектрального класу (АО) і таких, що належать до різних класів світності (I, II, V).

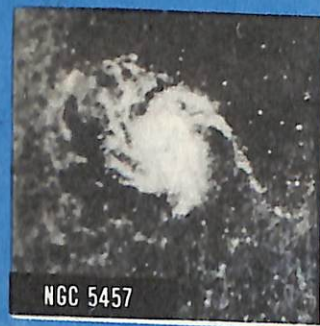
Мал. 20. Велика дифузна туманність у сузір'ї Оріона та її спектр.



Мал. 21. Спектрограма Арктура (α Волопаса) одержана 19 січня.

Мал. 22. Спектрограма Проціона (α М. Пса), відповідає 25 жовтня.





NGC 5457



NGC 3034



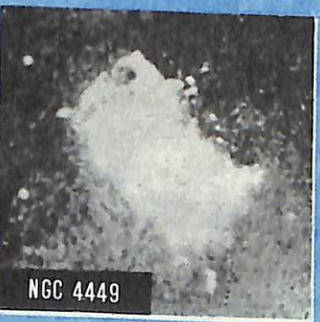
NGC 3115



NGC 4621

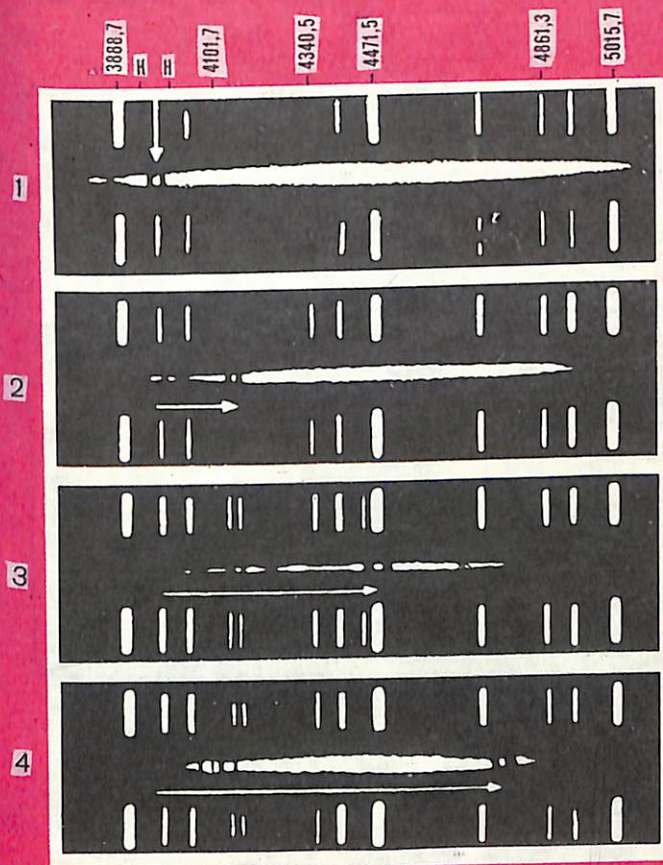


NGC 2841

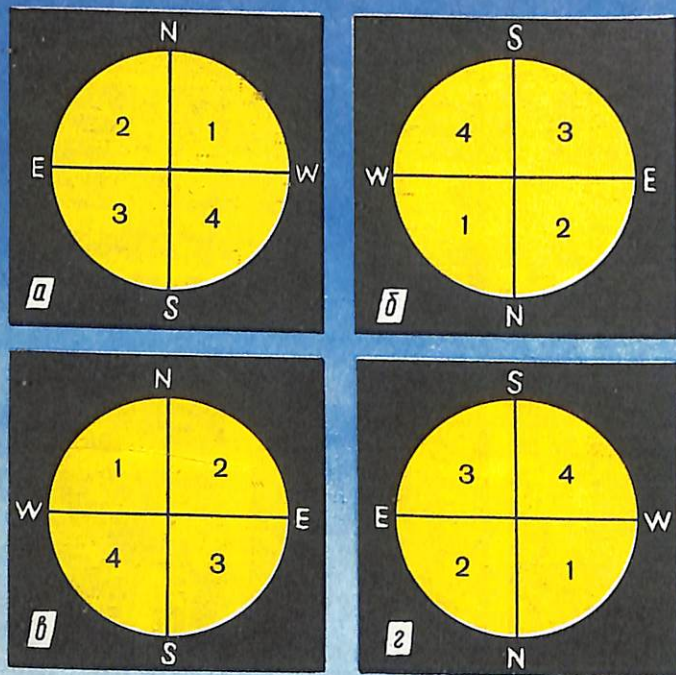


NGC 4449

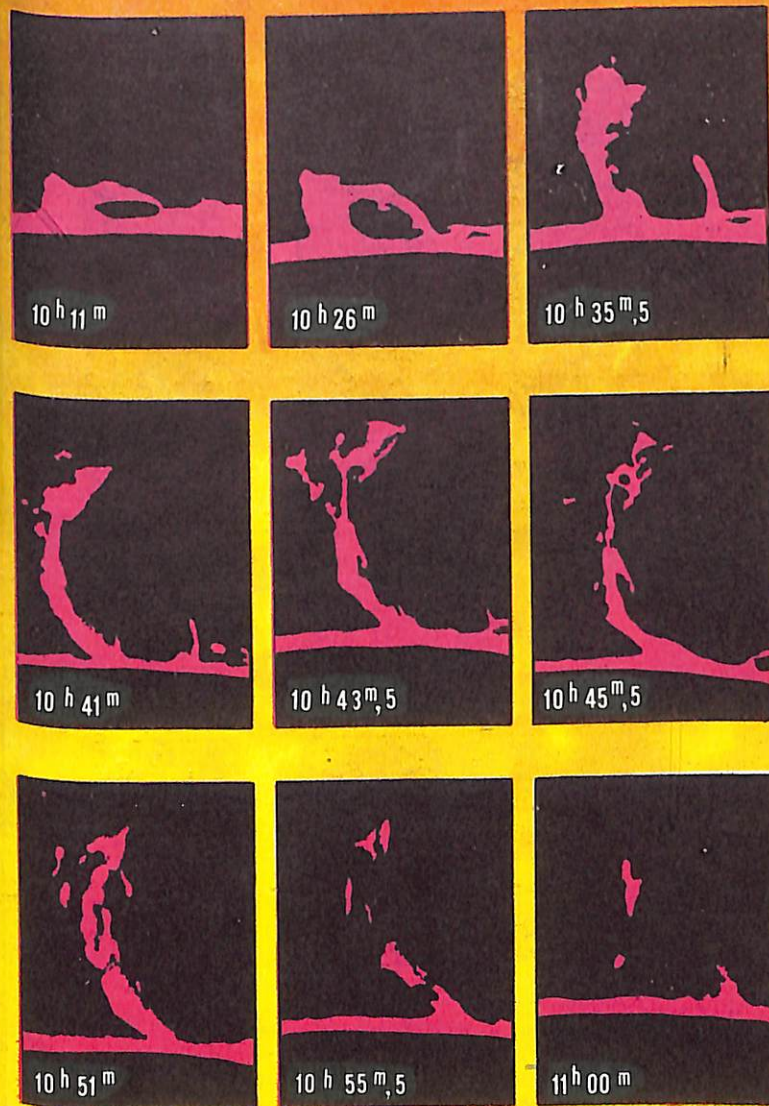
Мал. 23. Фотографії галактик різних класів.



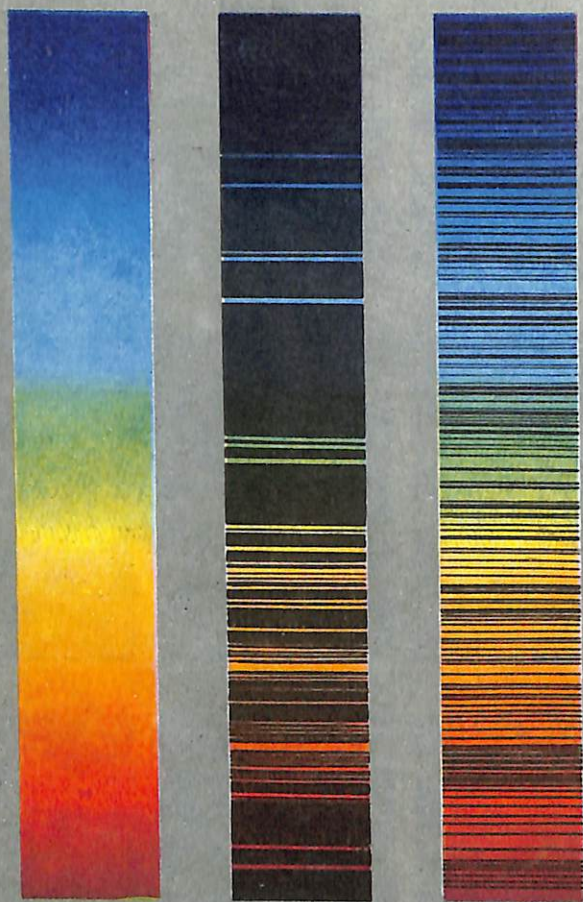
Мал. 24. Червоне зміщення у спектрах галактик.
Стрілкою вказано положення ліній поглинання К і Н
одноіонізованого кальцію.



Мал. 25. Положення сторін світу при спостереженні Сонця: *a* — без труби, в бінокль, трубу із земним окуляром; *б* — в телескоп, що дає обернене зображення; *в* і *г* — на екрані, відповідно при астрономічному і земному окулярах.



Мал. 26. Розвиток протуберанця 5.VIII.1951 р.: різні положення протуберанця відносно хромосфери. Масштаб: максимальна висота явища на 4-му знімку ($10^4 41''$) відповідає 180 000 км.



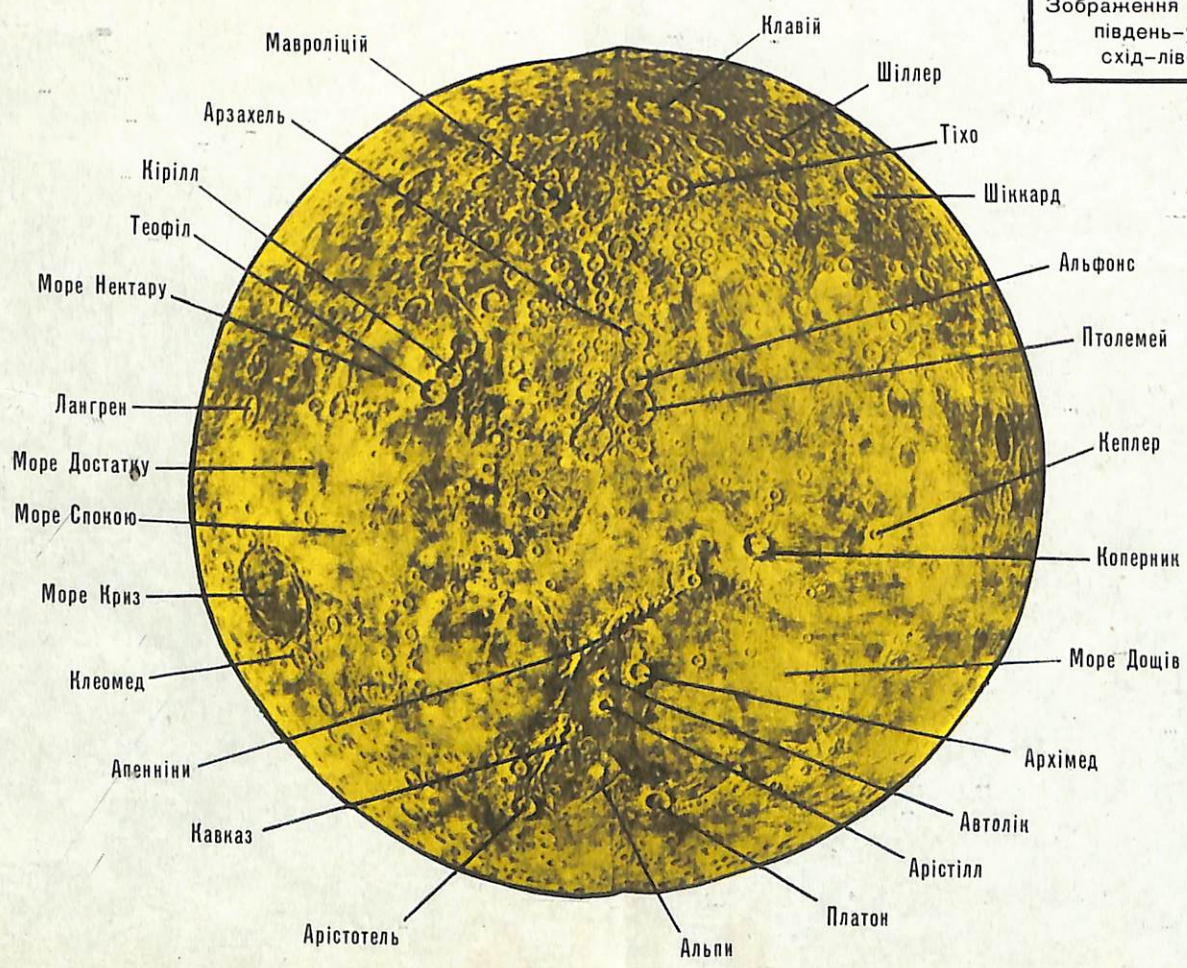
1

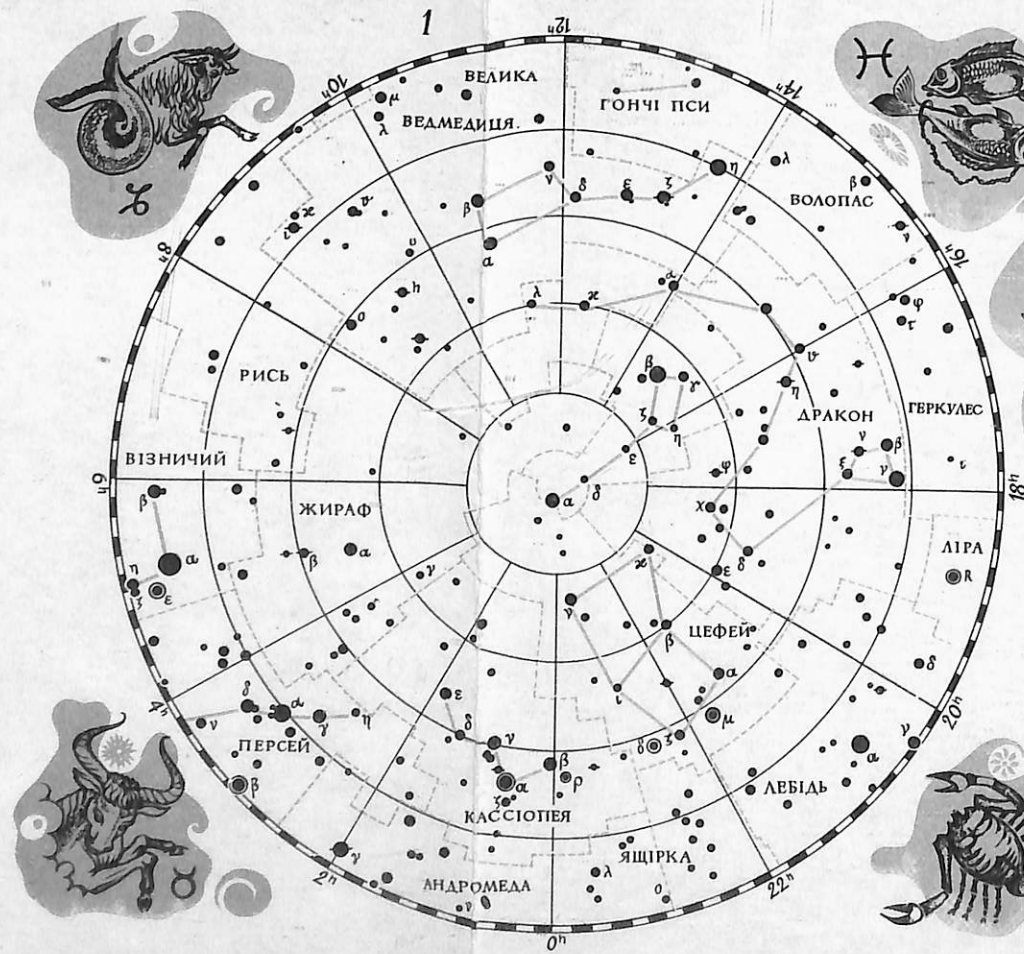
2

3

Мал. 27. Види спектрів: 1 — неперервний спектр, 2 — лінійчастий спектр випромінювання, 3 — спектр поглинання.

Рельєфна карта
видимого боку Місяця.
Зображення обернене:
південь-угорі,
схід-ліворуч.





КАРТА
ЗОРЯНОГО НЕБА
1,2

