

Бузько В. Л.

Дидактичний матеріал з астрономії



Вікторія Бузько

**Дидактичний матеріал
з астрономії**

Навчальний посібник для загальноосвітніх
навчальних закладів

2019

ББК 22.6
УДК 501.521:52
Б90

Рецензенти:

О. В. Волчанський – доцент кафедри фізики та методики її викладання Центральноукраїнського державного педагогічного університету імені Володимира Винниченка, кандидат фізико-математичних наук, доцент, вчитель-методист

Т. М. Засекіна - заступник директора Інституту педагогіки кандидат педагогічних наук, старший науковий співробітник

Бузько В. Л.

Б90 Дидактичний матеріал з астрономії : [навчальний посібник для загальноосвітніх навчальних закладів] / Вікторія Леонідівна Бузько. – – 164 с.

ISBN

Навчальний посібник розрахований на учнів 10-11 класів закладів загальної середньої освіти, він буде сприяти якісному вивченню астрономії і розвиватиме інтерес до астрономії та активізуватиме навчально-пізнавальну діяльність школярів.

У посібнику розміщено розрахункові та якісні задачі та задачі-рисунки. До кожної теми з астрономії запропоновано самостійну роботу у двох варіантах та підсумкову контрольну роботу. Посібник містить кросворди та додаткову інформацію до кожного з розділів. Матеріали доцільно запроваджувати як на уроках астрономії, так і для організації самостійної і домашньої роботи учнів.

Посібником можуть скористатися учні загальноосвітніх шкіл, учителі-практики, науковці, викладачі закладів післядипломної педагогічної освіти, слухачі курсів підвищення кваліфікації, викладачі й студенти педагогічних вищих навчальних закладів.

ББК 22.6
УДК 501.521:52

ISBN

© В. Л. Бузько, 2019

ЗМІСТ

Передмова	7
РОЗДІЛ І. ОСНОВИ ПРАКТИЧНОЇ АСТРОНОМІЇ	9
Небесні світила й небесна сфера. Сузір'я. Визначення відстаней до небесних світил. Небесні координати.	9
Самостійна робота №1.....	12
Видимі рухи Сонця та планет. Затемнення. Закони Кеплера та їх зв'язок із законами Ньютона.....	13
Самостійна робота №2.....	18
Астрономія та визначення часу. Календар.....	19
Самостійна робота №3.....	22
Підсумкова контрольна робота №1. „Основи практичної астрономії”	23
Для допитливих	25
Розв'яжіть кросворд	25
Олімпіадні задачі	27
Конфігурації планет.....	29
Гра 1. Розгадай ребуси.....	31
РОЗДІЛ ІІ. ФІЗИКА СОНЯЧНОЇ СИСТЕМИ	33
Земля і Місяць. Природа тіл Сонячної системи.....	33
Самостійна робота №4.....	49
Космічні дослідження об'єктів Сонячної системи. Рух штучних супутників і автоматичних міжпланетних станцій. Розвиток космонавтики. Космогонія Сонячної системи.....	50
Самостійна робота №5.....	55
Підсумкова контрольна робота №2. „Фізика Сонячної системи”	55
Для допитливих	57
Розв'яжіть кросворд	57
Олімпіадні задачі	59
Практична робота №1: Конфігурації планет. Синодичний і сидеричний періоди.....	63
Астрономічна вікторина.....	65

РОЗДІЛ ІІІ. МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ФІЗИЧНИХ І АСТРОНОМІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	67
Основні фотометричні величини та їх вимірювання.....	67
Самостійна робота №6.....	75
Спектроскоп. Спектральний аналіз та його застосування.....	76
Самостійна робота №7.....	84
Випромінювання небесних світил. Методи астрономічних спостережень. Принцип дії і будова оптичного та радіотелескопа, детекторів нейтрино та гравітаційних хвиль.	84
Приймачі випромінювання. Застосування в телескопобудуванні досягнень техніки і технологій. Сучасні наземні й космічні телескопи. Астрономічні обсерваторії.....	86
Самостійна робота №8.....	88
Підсумкова контрольна робота №3. „Методи та засоби фізичних і астрономічних досліджень”.....	89
Для допитливих	91
Розв'яжіть кросворд.....	91
Олімпіадні задачі.....	93
Практична робота №2. Визначення основних характеристик оптичних телескопів.....	96
Гра 2. Розгадай анаграми.....	101
РОЗДІЛ ІV. ЗОРІ І ГАЛАКТИКИ	102
Зорі та їх класифікація. Сонце, його фізичні характеристики, будова та джерела енергії. Прояви сонячної активності та їх вплив на Землю..	102
Види зір. Планетні системи інших зір. Еволюція зір. Чорні діри	107
Самостійна робота №9.....	111
Молочний Шлях. Будова Галактики. Місце Сонячної системи в Галактиці. Зоряні скупчення та асоціації. Туманності. Підсистеми Галактики та її спіральна структура.....	112
Самостійна робота №10.....	115
Світ галактик. Квасари	116

Самостійна робота №11.....	117
Підсумкова контрольна робота №4. „Зорі і галактики”.....	118
Для допитливих	120
Розв'яжіть кросворд.....	120
Олімпіадні задачі.....	121
Створення моделі сонячної грануляції.....	124
Гра 3. „Зоряна битва”.....	124
РОЗДІЛ V. ВСЕСВІТ	130
Фундаментальні взаємодії в природі. Роль фізичної та астрономічної наук у формуванні наукового світогляду сучасної людини.....	130
Єдина природничо-наукова картина світу. Історія розвитку уявлень про Всесвіт. Походження й розвиток Всесвіту. Основні положення спеціальної теорії відносності. Проблеми космології. Людина у Всесвіті. Антропний принцип. Імовірність життя на інших планетах. Унікальність нашого Всесвіту. Питання існування інших всесвітів.	135
Самостійна робота №12.....	137
Підсумкова контрольна робота №5. „Всесвіт”.....	137
Для допитливих	139
Розв'яжіть кросворд.....	139
Олімпіадні задачі.....	141
Фрідман О.О.	142
Астрономічний словник	146
Гра-подорож „Мандрівка Сонячною системою”.....	149
Основні фізичні і астрономічні сталі.....	152
Література	154
Відповіді	157
Відповіді до кросвордів	162

ПЕРЕДМОВА

Посібник представляє збірник запитань і задач, складених відповідно до чинної програми з астрономії для учнів загальноосвітніх шкіл. Збірник містить з кожної теми курсу астрономії тренувальні завдання однакового типу, що розташовані за зростаючим ступенем складності і дозволяє використовувати його як посібник для індивідуальних завдань при роботі в класі і вдома. Основна мета завдань цієї групи – сформулювати в учнів необхідні навички до розв’язування задач і закріпити матеріал з певної теми.

До більшості тем запропоновані короткочасні самостійні роботи, розраховані на 20-25 хв. Їх використання дає можливість кожному учневі самостійно або учителеві частіше перевіряти й оцінювати знання, що особливо важливо при вивченні астрономії в загальноосвітній школі. Роботи такого виду готують учнів до підсумкових контрольних робіт з усієї теми.

Посібник містить розрахункові, якісні, олімпіадні задачі. Вони охоплюють усі розділи шкільного курсу астрономії класу відповідно до програми вивчення астрономії.

Посібник складається з п'яти розділів:

Розділ I. Основи практичної астрономії.

Розділ II. Фізика Сонячної системи.

Розділ III. Методи та засоби фізичних і астрономічних досліджень.

Розділ IV. Зорі і галактики.

Розділ V. Всесвіт.

Задачі переважно розміщені у порядку зростання складності. У відповідях подано розв’язки окремих задач. Наведено приклади розв’язків задач до кожної теми.

Після тем, як логічне продовження, йдуть короткочасні самостійні роботи з даної теми.

У кінці розділу розміщено „Підсумкові контрольні роботи”. Далі розташований матеріал „Для допитливих”, який складається із *кросвордів* (у двох варіантах), *олімпіадних задач*, *додаткової інформації*, *дидактичних ігор*, міститься список літератури, *додаток*, в якому наведені значення

табличних величин, необхідні для розв'язку задач, запропонованих у посібнику.

Тренувальні задачі позначені відповідно до розділу **1.15**. Олімпіадні задачі позначені **2_о**.

Даний посібник може використовуватися на уроках різних типів: контрольних, самостійних роботах, уроках повторення, узагальнення та систематизації знань, а також при підготовці до уроку вдома. Контрольні роботи розраховані на одну академічну годину.

РОЗДІЛ І. РОЗДІЛ І. ОСНОВИ ПРАКТИЧНОЇ АСТРОНОМІЇ

Небесні світила й небесна сфера. Сузір'я. Визначення відстаней до небесних світил. Небесні координати.

Видимі рухи Сонця та планет. Закони Кеплера та їх зв'язок із законами Ньютона.

Астрономія та визначення часу. Календар.

Підсумкова контрольна робота.

Небесні світила й небесна сфера. Сузір'я.

Визначення відстаней до небесних світил.

Небесні координати

Приклади розв'язування задач

Задача №1. На яких географічних паралелях зоря Капелла ($\delta=+45^{\circ}58'$) не заходить за горизонт, її ніколи не видно і в нижній кульмінації проходить в надірі?

Дано:

Капелла,

$\delta=45^{\circ}58'$

$\varphi=?$

За умовою для світила, що не заходить за горизонт $\delta \geq +(90^{\circ} - \varphi)$, тобто

$\delta = +(90^{\circ} - 45^{\circ}58')$, звідси $\varphi \geq +44^{\circ}02'$,

тобто на географічній паралелі, з $\varphi = +44^{\circ}02'$ і на північ від неї, аж до північного полюса Землі ($\varphi=+90^{\circ}$), Капелла є зорею що не заходить.

З умови симетрії небесної сфери знаходимо, що у південній півкулі Землі Капелла не сходить у місцях з географічною широтою від $\varphi=-44^{\circ}02'$ до південного географічного полюса ($\varphi=-90^{\circ}$).

Задача №2. Визначити дату верхньої кульмінації зорі Регул о 21 годині за місцевим часом.

Встановлюємо накладний круг так, щоб зоря Регул (α Лева) знаходилася на лінії небесного меридіана на південь від північного полюса. На лімбі накладного круга знаходимо від-

мітку 21 і напроти неї на краю накладного круга визначаємо дату – 10 квітня.

1.1. Що таке небесна сфера? Виберіть правильне твердження.

- а)** Круг земної поверхні, обмежений лінією горизонту;
- б)** уявна сферична поверхня довільного радіуса, за допомогою якої вивчаються положення і рух небесних світил;
- в)** уявна лінія, яка є дотичною до поверхні земної кулі в точці, де розташований спостерігач.

1.2. Зорі мають різну яскравість і колір. До яких зірок відноситься наше Сонце?

- а)** До білих;
- б)** до жовтих;
- в)** до червоних.

1.3. Що називається схиленням світила?

- а)** Кутова відстань світила від небесного екватора;
- б)** кут між лінією горизонту і світилом;
- в)** кутова відстань світила від точки зеніту.

1.4. Що означає термін „зеніт”?

- а)** Найвищу точку над горизонтом;
- б)** напрямок по прямовисній лінії на центр Землі;
- в)** напрямок по прямовисній лінії вгору;
- г)** напрямок на Полярну зорю.

1.5. Момент, коли світило проходить меридіан і перебуває найнижче над горизонтом, називається:

- а)** Пряме сходження;
- б)** верхня кульмінація;
- в)** нижня кульмінація.

1.6. У якому сузір'ї знаходиться зоря з координатами: $\alpha=8^h58^m$, $\delta=-14^\circ$?

1.7. Які приблизні координати зорі α Овна?

1.8. Яка зоря скоріше перебуває у верхній кульмінації: ϵ Персея чи α Лева?

1.9. В якому сузір'ї знаходиться Сонце 24 серпня, у День незалежності України?

1.10. Визначите за допомогою зоряної карти екваторіальні координати зір: 1) α Терезів; 2) β Ліри.

1.11. Знайдіть на зоряній карті і назвіть об'єкти, що мають координати: 1) $\alpha=15^{\text{h}}12^{\text{m}}$, $\delta=-9^{\circ}$; 2) $\alpha=3^{\text{h}}40^{\text{m}}$, $\delta=+48^{\circ}$.

1.12. У якому сузір'ї знаходиться Місяць, якщо його координати: $\alpha=20^{\text{h}}30^{\text{m}}$, $\delta=-20^{\circ}$.

1.13. Як відносно зірок переміщуються на небі планети?

1.14. Пряме піднесення Сонця 18^{h} . Назвіть декілька сузір'їв, через які в південній частині неба небесний меридіан проходить опівночі цього дня.

1.15. Де Сонце буває в один і той же день опівдні вище: у Києві ($\varphi_1=50^{\circ}$) або в Тбілісі ($\varphi_2=42^{\circ}$)? Яка різниця висот?

1.16. В Одесі ($\varphi=46^{\circ}30'$) спостерігалася верхня кульмінація зорі на висоті 27° над точкою півдня. Визначите її схилення.

1.17. Пряме піднесення Сонця 6^{h} . Коли це буває? Яке схилення Сонця в цей час?

1.18. Яка полуденна висота Сонця в Тбілісі ($\varphi=42^{\circ}$) в день зимового сонцестояння?

1.19. Яку частину доби знаходиться над горизонтом світило, розташоване на небесному екваторі?

1.20. У якому місці Землі не видно жодної зорі північної небесної півкулі?

1.21. Визначте полуденну висоту Сонця у Дніпрі у день зимового сонцестояння (φ Дніпра 49° північної широти).

1.22. Діаметр сферичного аеростата дорівнює 13 м. На якій відстані знаходиться аеростат, якщо його кутовий діаметр удвічі менше місячного?

1.23. Назвіть сузір'я, які видно в північній півкулі о 22 год 00 хв на початку квітня.

1.24. Зоря віддалена від полюса світу на 48° . Чи завжди її можна бачити у Києві ($\varphi=50^{\circ}27'$)?

1.25. Визначте верхню кульмінацію зорі Альтаїр на широті 60° північної широти. Схилення Альтаїра $+9^{\circ}$.

1.26. Де знаходиться центр небесної сфери?

1.27. Як визначити точку зеніту?

1.28. Паралакс зорі дорівнює $0,08''$. У скільки разів ця зоря перебуває далі, ніж Сонце?

1.29. З якої географічної широти починаються „білі ночі”?

1.30. Чому дорівнює різниця зенітних відстаней двох зірок під час однойменних кульмінацій в одному пункті спостереження?

Самостійна робота №1

Варіант 1

1. Висота світила вимірюється у...

- а)** кілометрах; **б)** градусах від 0° до 180° ;
в) градусах від 0° до 90° ; **г)** годинах від 0 до 12.

2. Що взято за астрономічну одиницю відстані?

- а)** Радіус Землі; **б)** світловий рік;
в) велику піввісь Земної орбіти; **г)** 1 м.

3. Горизонтальний паралакс – це кут,...

- а)** що дорівнює 120° ; **б)** на який повертається Земля за 1 рік;
в) під яким із зорі видно радіус орбіти Землі;
г) під яким із світила видно радіус орбіти Землі.

4. Визначте за допомогою зоряної карти екваторіальні координати таких зірок: **а)** α Терезів; **2)** γ Оріона.

5. У якому сузір'ї перебував супутник, якщо його координати: $\alpha=10^h20^m$; $\delta=+15^\circ$.

Варіант 2

1. Де на земній кулі цілий рік день дорівнює ночі?

- а)** На полюсах; **б)** на екваторі;
в) на $23,5^\circ$ пн. ш.; **г)** на 45° пн. ш.

2. Пряма, яка з'єднує точку півночі і точку півдня, називається...

- а)** горизонтальною лінією; **б)** віссю світу;
в) полуденною лінією; **г)** меридіаном.

3. Відстань, з якої велику піввісь земної орбіти, перпендикулярну до променя зору, видно під кутом $1''$, називають...

- а)** астрономічною одиницею; **б)** паралаксом;
в) парсеком; **г)** світловим роком.

4. Визначте за допомогою зоряної карти екваторіальні коор-

динати таких зірок: а) α Великої Ведмедиці; 2) β Кита.

5. Визначте за допомогою зоряної карти сузір'я, у якому знаходиться галактика М 31, якщо її координати $\alpha=0^h40^m$; $\delta=+41^\circ$.

Видимі рухи Сонця та планет. Затемнення.

Закони Кеплера та їх зв'язок із законами Ньютона

Приклади розв'язування задач

Задача №3. На скільки зміщується Сонце по екліптиці щодня?

Впродовж року Сонце описує по екліптиці коло у 360° , тому $360^\circ/365 \text{ днів} \approx 1^\circ$ у день.

Задача №4. Знайди астрономічну помилку: „...Солнце сховалося за горбами, коли Олександр покинув святкування. Вони їхали всі в ряд - Таїс, як і раніше у вигляді амазонки, Птолемей, Гефестіон і Кратер. Останні слідували на крок позаду, а обидва боки подвійним ланцюжком їхала охорона з одягнених в броню гетайрів. Вузкий серпик молодого місяця заблищав над самою вершиною почорнілих східних гір, ледве згасла палева кайма заходу...”

Увечері молодий місяць видно на заході.

Задача №5. На якій географічній широті Сонце кульмінує у день літнього сонцестояння на висоті $+72^\circ50'$ над точкою півночі? Чому дорівнює полуденна і північна висота Сонця на тій самій широті у дні рівнодення і зимового сонцестояння?

$h_B = +72^\circ50'$	У день літнього сонцестояння полуденна зінітна відстань Сонця
N	
$\delta = +23^\circ27'$	
$\varphi = ?$ $h_B = ?$ $h_H = ?$	
	$z_B = 90^\circ - h_B = 90^\circ - 72^\circ50' \text{ N} = 17^\circ10' \text{ N}$
	, а так як кульмінація відбувається на північ від зеніту, то $\delta > \varphi$, і відповідно, до формули
	$z_B = \delta - \varphi$,
	$\varphi = \delta - z_B = +23^\circ27' - 17^\circ10' = 6^\circ17'$.

У дні рівнодень $\delta = 0^\circ$, і за формулами $h_B = (90^\circ - \varphi) + \delta$

і $h_H = \delta - (90^\circ - \varphi)$ отримаємо:

$$h_B = (90^\circ - \varphi) = 90^\circ - 6^\circ 17' = +83^\circ 43' S,$$

$$h_H = -(90^\circ - \varphi) = -(90^\circ - 6^\circ 17') = -83^\circ 43' N.$$

У день зимового сонцестояння $\delta = -23^\circ 27'$, тобто $\delta < \varphi$, і тому за тими самими формулами отримаємо:

$$h_B = (90^\circ - 6^\circ 17') - 23^\circ 27' = +60^\circ 16' S \quad \text{і}$$

$$h_H = \delta - (90^\circ - \varphi) = -23^\circ 27' - (90^\circ - 6^\circ 17') = -107^\circ 10'$$

Висота у нижній кульмінації менша за -90° , це неможливо. Це означає, що нижня кульмінація Сонця відбувається під точкою півдня S. Тому дійсна висота $h_H = -(180^\circ - 107^\circ 10') = -72^\circ 50' S$.

Задача №6. Синодичний період планети 500 діб. Визначте велику піввісь її орбіти і зоряний період обертання.

Велику піввісь орбіти можна визначити з третього закону Кеплера: $\frac{T^2}{T_3} = \frac{a^3}{a_3} \Rightarrow a^3 = \frac{a_3^3 T^2}{T_3^2}$, а зоряний

період – із співвідношення між сидеричним і синодичними періодами:

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{T_3} - \frac{1}{T} \quad (\text{якщо планета зовнішня}) \text{ або}$$

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{T} - \frac{1}{T_3} \quad (\text{якщо планета внутрішня}).$$

$$\text{Тоді } T = \frac{T_3 S}{S - T_3} \quad (\text{для зовнішньої}) \text{ і } T = \frac{ST}{T_3 + S} \quad (\text{для}$$

внутрішньої).

$$T = \frac{365 \cdot 500}{500 - 365} = 1352(\text{добу}) = 3,7 \text{ року} \quad (\text{зовнішня}$$

планета),

$$T = \frac{365 \cdot 500}{365 + 500} 211(\text{дiб}) = 0,58 \text{ року} (\text{внутрішня}$$

планета).

$$a = \sqrt[3]{\frac{(3,7)^2 \cdot 1}{1}} = 2,4(a.o.) - \text{якщо планета зовнішня,}$$

$$a = \sqrt[3]{\frac{(0,58)^2 \cdot 1}{1}} = 0,69(a.o.) - \text{якщо планета внутрішня.}$$

1.31. Планети навколо Сонця рухаються по...

а) прямих; **б)** еліпсах; **в)** параболах; **г)** гіперболах.

1.32. Які планети можуть спостерігатись у протистоянні?

а) Зовнішні планети; **б)** жодні;

в) внутрішні планети; **г)** усі без винятку.

1.33. Точка, в якій швидкість планети найбільша, називається...

а) перигелієм; **б)** фокусом; **в)** афелієм; **г)** координатою.

1.34. Проміжок часу між двома однойменними фазами Місяця називається...

а) синодичним місяцем; **б)** періодом;

в) сидеричним місяцем; **г)** зоряним місяцем.

1.35. Відхилення планети від траєкторії руху, який відбувався б суто за законами Кеплера, називається...

а) зміщенням; **б)** відхиленням;

в) збуренням; **г)** порушенням.

1.36. Яке повне затемнення триваліше (сонячне чи місячне) триваліше? Чому?

1.37. Що є причиною видимого зміщення Сонця відносно зір?

1.38. Чому дорівнює зоряний період обертання Венери навколо Сонця, якщо її верхнє сполучення з Сонцем повторюється через 1,6 року?

1.39. Знайдіть астрономічну помилку: “Незадовго до півночі ми зайняли позицію в кущах прямо навпроти парадних дверей професорського особняка. Ніч була ясна, але холодна, і ми порадили, що наділи теплі пальта. Налетів вітерець; з неба, раз у раз закриваючи серп місяця, поплили хмари...”

Двері будинку поволи відчинилися, і ми побачили в освітленому отворі високу фігуру професора Пресбері...

- Йдемо, Уотсон, швидше! - шепнув Холмс, і ми, прагнучи не шуміти, пішли крізь кущі до того місця, звідки видно була бічна стіна особняка, увита плющем і залита світлом молодого місяця...”

1.40. Чому дорівнює велика піввісь орбіти Урану, якщо зоряний період обертання цієї планети навколо Сонця складає 84 роки?

1.41. Визначте синодичний період обертання Меркурія, знаючи, що його зоряний період обертання навколо Сонця дорівнює 0,24 роки.

1.42. Які планети можуть спостерігатися у протистоянні? Які не можуть?

1.43. Які планети не можуть знаходитися у верхньому з'єднанні?

1.44. Чи можна спостерігати Венеру вранці на заході, а ввечері на сході? Відповідь поясніть.

1.45. Чим обумовлений річний видимий рух Сонця по екліптиці?

1.46. Який мінімальний проміжок часу між сонячними і місячними затемненнями?

1.47. Скільки разів впродовж року можна побачити усі фази Місяця?

1.48. Чому синодичний місяць довший сидеричного?

1.49. Обчисліть середній радіус і стиснення Землі, якщо її екваторіальний радіус рівний 6378 км., а полярний радіус – 6357 км.

1.50. Чому дорівнює горизонтальний екваторіальний паралакс Місяця при його середній (384400 км.), найближчій (356410 км.) і найбільшій (406740 км.) геоцентричній відстані? Екваторіальний радіус Землі – 6378 км.

1.51. Дізнатися лінійні розміри великого діаметру Червоної плями на Юпітері і діаметр радіаційного поясу планети, якщо пляма видно із Землі по куту близько $10''$, а радіовипромінювання планети спостерігається з простору, що оточує її, аж до відстані в $13',7$ від центру її диска. Паралакс Юпітера прийняти рівним $2'',09$.

1.52. Юпітер перебуває на відстані 4,2 а.о. від Землі. Його горизонтальний паралакс $2,2''$. Який горизонтальний паралакс Сатурна, якщо його відстань від Землі 8,5 а.о.?

1.53. Як визначають маси планет, що мають супутники?

1.54. Визначити другу космічну швидкість для поверхні Місяця шляхом порівняння із відповідними даними для Землі.

1.55. Розрахувати першу космічну швидкість корабля, який повинен стартувати з Марса.

1.56. Обчисліть швидкість астероїдів Лідії і Адоніса на їх середній, перигельній і афелійній відстані, а також кругову і параболічну швидкість на цих відстанях. Велика піввісь і ексцентриситет орбіти першого астероїда рівні 2,73 а.о. і 0,078, а другого – 1,97 а.о. і 0,778.

1.57. На якій відстані від Сонця пройшла комета, якщо її швидкість на цій відстані дорівнювала 65 км/с і комета рухалася по параболічній орбіті?

1.58. Дізнатися масу Урану по руху його четвертого супутника Оберона, що обертається навколо планети за 13,46 діб на середній відстані в 587 тис. км.

1.59. За параметрами обертання Землі обчисліть масу Сонця в земних масах.

1.60. Супутники двох планет, що мають різну масу, обертаються з однаковими періодами. У якої з планети супутник перебуває на більшій відстані?

Самостійна робота №2

Варіант 1

1. У якій конфігурації можуть бути і внутрішні, і зовнішні планети?
а) у верхньому сполученні; б) у протистоянні;
в) у нижньому сполученні;
г) в усіх перерахованих вище
2. Які з перерахованих нижче сузір'їв не є зодіакальними.
а) Телець; б) Змієносець; в) Рак.
3. Земля перебуває поблизу афелію:
а) 22 червня; б) 4 липня;
в) 22 грудня; г) 3 січня; д) 21 березня.
4. Визначте тривалість марсіанського року, якщо Марс віддалений від Сонця в середньому на 228 млн. км.
5. Період обертання Венери навколо Сонця дорівнює 0,615 земного року. Визначте відстань від Венери до Сонця..

Варіант 2

1. Найзручніше спостерігати планети тоді, коли вони і Земля перебувають..
а) у протистоянні; б) у нижньому сполученні;
в) у верхньому сполученні; г) найближче до Сонця.
2. Які з перерахованих нижче сузір'їв не є зодіакальними.
а) Риби; б) Стрілець; в) Заєць.
3. Радіус-вектор планети за однакові проміжки часу описує..
а) різні площі; б) рівні площі;
в) залежить від планети; г) інша відповідь.
4. На якій середній відстані від Сонця перебуває мала планета, якщо її період обертання навколо Сонця дорівнює 8 років?
5. Мала планета Веста обертається навколо Сонця по орбіті із великою віссю $a=2,362$ а.о. й ексцентриситетом $e=0,089$. Визначте сидеричний і синодичний періоди обертання Вести та її середню швидкість обертального руху.

Астрономія та визначення часу. Календар

Приклади розв'язування задач

Задача №7. На скільки відрізняється місцевий час у Сімферополі від київського часу?

Дано: $\lambda_K = 30^\circ =$ $= 2 \text{ год } 00 \text{ хв}$ $\lambda_C = 34^\circ 06' =$ $= 2 \text{ год } 16 \text{ хв}$	Взимку $\Delta T = T_C - T_K = \lambda_C - \lambda_K = 16 \text{ хв}$. Тобто взимку місцевий час у Сімферополі випереджає київський час. Весною стрілки всіх годинників у Європі переводять на 1 год вперед, тому київський час випереджає на 44 хв місцевий час у Сімферополі.
$\Delta T = ?$	

Задача №8. Чому протягом літнього дня одиниця поверхні на широті України отримує від Сонця більше енергії, ніж в екваторіальній зоні?

Улітку тривалість дня на широті України майже вдвічі більша від тривалості ночі, у той час як на екваторі протягом року тривалість дня не змінюється, і це компенсує нижчу висоту Сонця на нашій території.

Задача №9. Чому виникла необхідність реформи юліанського календаря?

Тривалість року за юліанським календарем виявилась на 11 хв 14 с більшою від тривалості тропічного року. Це приводило до того, що в юліанському календарі враховували зайвий час. Таким чином, кожні 400 років юліанський календар відставав на 3 доби.

1.61. Тропіки – це така географічна широта, де:

- а) Ростуть пальми; б) Сонце ніколи не заходить;
- в) під час сонцестояння Сонце кульмінує в зеніті;
- г) під час рівнодення Сонце кульмінує в зеніті;
- д) ніколи не випадає дощ.

1.62. Полярне коло – це така географічна широта, де:

- а) цілий рік не тане сніг; б) живуть білі ведмеді;
- в) півроку триває ніч, а півроку – день;
- г) під час рівнодення Сонце кульмінує в зеніті;

д) у день зимового сонцестояння Сонце не сходить.

1.63. Під яким кутом до площини орбіти нахилена вісь обертання Землі?

а) 0; б) 23,5; в) 45; г) 66,5; д) 90 .

1.64. Який кут між площинами екватора та екліптики?

а) 0; б) 23,5; в) 45; г) 66,5; д) 90 .

1.65. Скільки триває найдовший день на полярному колі?

а) 12 год; б) 24 год; в) 1 місяць; г) 3 місяці; д) півроку.

1.66. Що є причиною зміни пір року на Землі?

1.67. Чому влітку набагато тепліше, ніж взимку, хоча світить нам одне і те саме Сонце?

1.68. Визначте, якою б була тривалість найдовшого та найкоротшого дня в Харкові, якби кут між площинами екватора та екліптики дорівнював 40° .

1.69. Чому в дні рівнодення 21 березня та 23 вересня справжня тривалість дня на 10 хвилин більша, ніж тривалість ночі?

1.70. 22 червня штурман спостерігав Сонце в зеніті, у той час як хронометр показував 15 годину за всесвітнім часом. Визначте географічні координати корабля.

1.71. Через які інтервали зоряного часу після верхньої кульмінації зорі β Лева з прямим сходженням $11^h46^m31^s$ зоря α Гідри знаходитиметься у верхній кульмінації, в нижній кульмінації і займати положення при куті $4^h25^m16^s$? Пряме сходження α Гідри $9^h25^m08^s$.

1.72. У момент верхньої кульмінації зорі Гемми (α Північної Корони), пряме сходження якої $15^h32^m34^s$, годинник, що йде за зоряним часом (зоряний годинник), показував $15^h29^m42^s$. Знайти поправку годинника і його покази при куті тієї ж зорі, рівному $1^h20^m50^s$.

1.73. У момент верхньої кульмінації зорі Альдебарана (α Тільця) з прямим сходженням $4^h33^m03^s$ зоряний годинник показав $4^h52^m16^s$, а в такий же момент наступної ночі він показав $4^h51^m04^s$. Обчисліть поправки зоряного годинника в моменти спостережень, а також їх добовий і годинний хід (тобто зміна поправки за добу і за одну годину).

1.74. Визначте зоряний час в пунктах з географічною довготою $2^{\text{h}}13^{\text{m}}23^{\text{s}}$ і $84^{\circ}58'$ в момент, коли в пункті з довготою $4^{\text{h}}37^{\text{m}}11^{\text{s}}$ зоря Кастор (α Близнюків) знаходиться у верхній кульмінації. Пряме сходження Кастора $7^{\text{h}}31^{\text{m}}25^{\text{s}}$.

1.75. Пряме сходження Міри (α Кита) $2^{\text{h}}16^{\text{m}}49^{\text{s}}$, Сіріуса (α Великого Пса) $6^{\text{h}}42^{\text{m}}57^{\text{s}}$ і Прокіона (α Малого Пса) $7^{\text{h}}36^{\text{m}}41^{\text{s}}$. Чому дорівнюють годинні кути цих зірок в моменти верхньої і нижньої кульмінації Сіріуса?

1.76. Що таке середнє сонце і чому виникла потреба вводити дане поняття?

1.77. За яким принципом здійснений поділ земної кулі на годинні пояси?

1.78. Коли сонячний і зоряний годинники показують однаковий час, і коли різниця їхніх показань дорівнює 12 год?

1.79. Як знання зоряного часу полегшує вивчення зоряного неба?

1.80. Який календар використовується в Україні: місячний, місячно-сонячний чи сонячний?

1.81. Що таке тропічний рік?

1.82. Що таке зоряний рік?

1.83. Навіщо вводиться поняття середнього сонця?

1.84. Лайнер вилетів з Києва в Париж влітку об $11^{\text{h}}23^{\text{m}}0$ за київським часом і того ж дня приземлився в кінці маршруту о $10^{\text{h}}30^{\text{m}}0$ за літнім паризьким часом. Визначте тривалість перельоту, взявши до уваги, що Київ лежить у другому, а Париж – у нульовому годинному поясі.

1.85. Яка помилка єгипетського календаря, за яким рік дорівнював 365 діб? Коли відбудеться весняне рівнодення за цим календарем через 100 років? Коли весняне рівнодення припаде на осінь (приблизно)? Який день за новим стилем, якщо за старим стилем вважалося 15 лютого 1900 р.? 25 лютого 1900 р.? 5 березня 1900 р.?

1.86. Ньютон народився 25 грудня 1642 року за старим стилем. Яке це було число за новим стилем?

1.87. Яке число за новим стилем відповідає 28 лютого 2445 р. юліанського календаря?

1.88. Яких розмірів досягне похибка григоріанського календаря через 100, через 500 і через 1000 років? Коли наступатимуть весняні рівнодення через ці проміжки часу?

1.89. Зоряний час опівночі 18 липня становив $19^{\text{h}}43^{\text{m}}43^{\text{s}}$. Яким буде зоряний час опівночі 19 липня?

1.90. Які α і δ повинні мати дві зорі, які о $7^{\text{h}}35^{\text{m}}$ зоряного часу кульмінували б у Києві ($\varphi=50^{\circ}27'$) на zenітній відстані $z=40^{\circ}$ одна на південь, а друга на північ від zenіту?

Самостійна робота №3

Варіант 1

1. На якій географічній широті 23 вересня Сонце кульмінує в zenіті?

- а) На Північному полюсі; б) на екваторі;
- в) на Північному тропіку; г) на Південному тропіку;
- д) на Південному полюсі.

2. На якій географічній широті були б тропіки, якби вісь обертання Землі була нахилена до площини екліптики під кутом 45° ?

- а) 0° ; б) 30° ; в) 45° ; г) 50° ; д) 90° .

3. Сонячний годинник у Харкові 15 травня показував $17^{\text{h}}39^{\text{m}}$. Що в цей час показував наручний годинник? Харків знаходиться у II годинному поясі, його довгота $\lambda=2^{\text{h}}25^{\text{m}}$, рівняння часу в цей день $\eta=-3^{\text{m}},7$.

4. Визначте зоряний час у момент, коли годинний кут Веги дорівнює $4^{\text{h}}15^{\text{m}}$. Пряме сходження Веги $\alpha=18^{\text{h}}36^{\text{m}}05^{\text{s}}$.

5. Зоряний час опівночі 1 серпня становив $20^{\text{h}}38^{\text{m}}55^{\text{s}}$. Яким був зоряний час за 6 середніх годин до півночі?

6. Монтевідео лежить у XXI годинному поясі. Чому дорівнює поясний час цього міста в момент, коли годинник у Києві показує улітку 5 годин?

Варіант 2

1. Чи можна побачити Сонце одночасно з Північного та Південного полюсів Землі?

- а) Можна 21 березня; б) не можна; в) можна 22 червня;
- г) можна 23 вересня; д) можна 22 грудня.

2. На якій географічній широті були б полярні кола, якби вісь обертання Землі була нахилена до площини екліптики під кутом 50° ?

а) 0° ; б) 30° ; в) 45° ; г) 50° ; д) 90° .

3. На меридіанному крузі Київської обсерваторії спостерігалася верхня кульмінація Веги ($\alpha=18^h36^m05^s$) у момент, коли хронометр, що йде за гринвіцьким часом, показував $16^h34^m05^s$. Яка довгота Києва?

4. Визначте годинний кут зорі з прямим сходженням $\alpha=13^h40^m$ у момент, коли зоряний годинник показував 22^h41^m .

5. Опівночі зоряний годинник показував $22^h56^m54^s$. Скільки часу він покаже через $8^h30^m25^s$ середнього часу?

6. Визначте, коли за місцевим середнім і поясным часом настає момент справжнього полудня 16 січня в м. Кременчуці Рівняння часу на 16 січня дорівнювало $\eta = +9^m,5$.

Підсумкова контрольна робота №1. „Основи практичної астрономії“

Варіант 1

1. За допомогою рухомої карти зоряного неба визначте координати зорі β Пегаса.

2. Модель світу, яка проіснувала 1500 років, була запропонована...

а) Архімедом; б) Птолемеєм; в) Гершелем; г) Коперником.

3. Точка, в якій швидкість планети найбільша, називається...

а) перигелієм; б) афелієм; в) фокусом; г) координатою.

4. Що таке „зоряний рік“?

5. Визначте синодичний період обертання Меркурія, знаючи, що його зоряний період обертання навколо Сонця дорівнює 0,24 року.

6. Визначте відстань від Сонця до Урана, знаючи, що період обертання Урана навколо Сонця дорівнює 84 роки.

7. У якому сузір'ї перебував супутник, якщо його координати: $\alpha=10^h20^m$, $\delta=+15^\circ$?

8. Якої найбільшої висоти досягає Вега ($\delta=+38^\circ42'$) у Києві ($\varphi=50^\circ27'$)?

9. Що таке екліптика? Які сузір'я на ній розташовані?

10. Зобразіть схематично небесну сферу. Позначте на ній вісь світу, небесний екватор, Північний і Південний полюси світу. Яка зоря розташована поблизу Північного полюса світу, Південного полюса світу?

11. Астроном Медлер (1794 – 1874) запропонував ввести календар, за яким потрібно в кожні 128 років приймати 31 високосний рік, тобто кожні 128 років пропускати один високос. Визначте тривалість року в календарі Медлера і величину похибки його літочислення.

Варіант 2

1. За допомогою рухомої карти зоряного неба визначте координати зорі ϵ Діви.

2. Сутність геоцентричної системи світу розробив...

а) Коперник; **б)** Кеплер; **в)** Птолемей; **г)** Піфагор.

3. Найближче до Землі планети перебувають у...

а) нижньому сполученні; **б)** східній квадратурі;

в) західній квадратурі; **г)** верхньому сполученні.

4. Що таке тропічний рік?

5. Синодичний період планети 200 діб. Визначте велику піввісь її орбіти і зоряний період обертання.

6. Обчисліть період обертання Нептуна навколо Сонця, знаючи, що його середня відстань від Сонця дорівнює 30 а.о.

7. У якому сузір'ї перебував супутник, якщо його координати: $\alpha=14^h30^m$, $\delta=+30^\circ$?

8. На якій висоті у Києві ($\varphi=50^\circ27'$) відбувається верхня кульмінація зорі Антарес ($\delta=-26^\circ$)?

9. Що таке „світловий рік”? 1пк?

10. Схематично зобразіть небесну сферу. Позначте на ній математичний горизонт, небесний меридіан, полуденну лінію, точки півночі та півдня. Як називається проходження світила через небесний меридіан?

11. У XI ст. у Персії було введено календар, в основу якого покладено цикл у 33 роки; в цьому циклі вважалося 25 простих і 8 високосних років. Визначте тривалість року і похибку календаря.

Для допитливих

Розв'яжіть кросворд

Варіант 1. Кросворд №1 (рис.1)

По горизонталі:

2. Перетин світилом у його добовому русі небесного мериди-

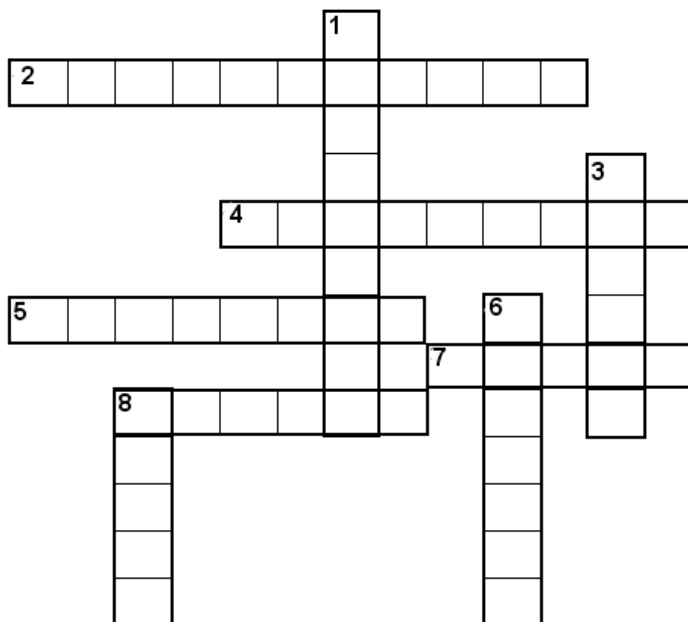


Рис. 1. Кросворд №1

ана; буває верхня (зенітна відстань світила найменша) і нижня (зенітна відстань найбільша).

4. Положення Меркурія або Венери, у яких вони мають найбільше кутове віддалення від Сонця.

5. Сузір'я, назване ім'ям античного героя

7. „Володар іжі, батько та мати людей”. Про кого так казали єгиптяни?

8. Кільцева смуга сузір'їв, через які проходить екліптика.

По вертикалі:

1. Ефіопська царівна на небі.
3. Супутник Землі.
6. Одне із зодіакальних сузір'їв.
8. Точка перетину прямовисної лінії з небесною сферою.

Варіант 2. Кросворд №2 (рис. 2)

По горизонталі:

3. Найвіддаленіша від Сонця точка орбіти тіла Сонячної системи, що є супутником Сонця.

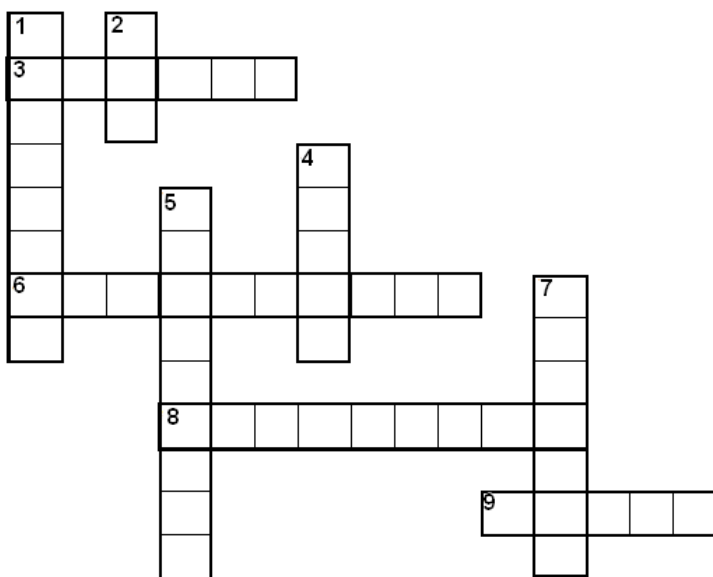


Рис. 2. Кросворд №2

6. Наука, що вивчає рух, будову та еволюцію небесних тіл і фізичні процеси, які їх зумовлюють.

8. Велике коло небесної сфери, по якому відбувається річний рух Сонця.

9. Королівська зоря.

По вертикалі:

1. Система відліку великих проміжків часу (у роках, місяцях та добах).

2. Зодіакальне сузір'я.

4. Період (у 18 років і 10 діб) повторення затемнень (визначається періодом обертання лінії вузлів місячної орбіти під збурюючим впливом Сонця).

5. Найближча до Сонця точка орбіти Сонячної системи, що є супутником Сонця.

7. Яскрава червона зоря.

Олімпіадні задачі

1_о. Що частіше видно на небі Місяця – Сонце чи Землю?

Відповідь. Оскільки Місяць здійснює один оберт навколо осі відносно напрямку на Сонце за синодичний місяць (29.53 діб) влюбій точці її поверхні Сонце видно над горизонтом приблизно два тижня, а наступні два тижня його не видно. А Землю постійно видно тільки із однієї півкулі Місяця («видимої сторони Місяця»), а з іншої півкулі Землю не видно. Тому на видимій стороні Місяця частіше видно Землю, а на невидимій – Сонце.

2_о. Скільки зоряних діб пройшло за 200 років? (Календарний рік складається з 365,24 діб).

Відповідь. Зоряних діб в році на 1 більше, ніж сонячних, тобто 366.24. Тоді за 200 років пройшло $200 \cdot 366,24 = 73248$ зоряних діб.

3_о. Де буде знаходитись Сонце, якщо ми будемо спостерігати його з околиць Сиріуса однієї з найближчих до Сонця зірок?

Відповідь: Сонце буде знаходитись у точці неба, протилежній положенню Сиріуса на нашому небі, тобто у східній частині сузір'я Геркулеса, поблизу межі зі сузір'ям Орла, Стріли та Лисиці.

4_о. Повне затемнення Сонця відбувається у другій половині червня біля місцевого полудня. Намалювати картину розташування видимих при цьому планет і найбільш яскравих зірок, враховуючи, що Венера знаходиться в найбільш західній елонгації, Меркурій у нижньому сполученні, Марс у протистоянні.

Відповідь: У другій половині червня Сонце знаходиться поблизу точки літнього сонцестояння. Отже під час затемнення мають бути видні яскраві зорі, розташовані навколо цієї точки: Кастор і Поллукс у сузір'ї Близнюків, Проксія у сузір'ї Малого Пса, Сиріус у сузір'ї Великого Пса, Альдебаран у сузір'ї Тельця, Капела у сузір'ї Візничого, яскраві зорі Оріона. Всі ці зорі знаходяться у південній частині неба. (Меркурій осторонь Сонця і його не видно. Венера приблизно на 47° на захід від Сонця в сузір'ї Тельця. Марс не видно, оскільки знаходиться поблизу точки зимового сонцестояння під горизонтом) – ця частина відповіді може змінюватися.

5₀. Деяка планета знаходиться на кутовій відстані 100° від Сонця. Яка це планета – верхня чи нижня?

Відповідь: Лише верхня планета, радіус орбіти якої перевищує радіус Землі, може знаходитися на кутовій відстані більше 90° від Сонця (рис. 3).

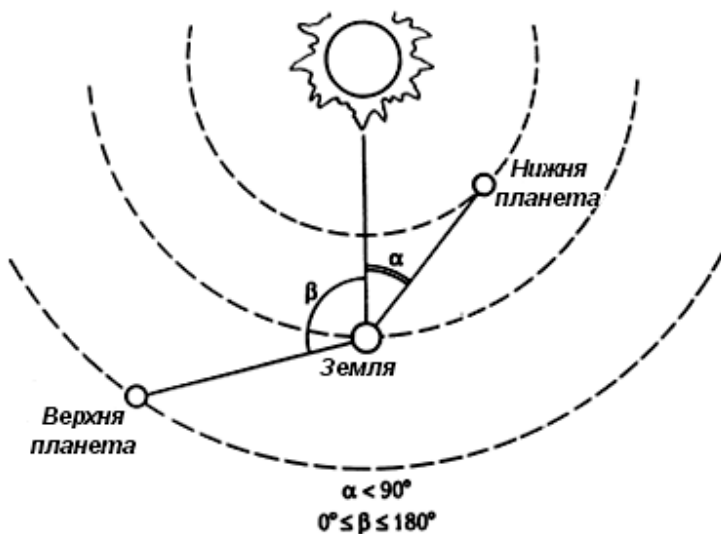


Рис.3. До задачі 5₀

6. Розрахуйте період комети, афелій якої знаходиться на відстані 140000 а.о. Дана відстань дорівнює половині відстані до найближчої відомої зорі.

Відповідь. Вважаємо, що комета рухається в полі тяжіння Сонця. Тоді її перигелій знаходиться поблизу Сонця та за порядком величина q складає кілька астрономічних величин, а, отже, $q \ll Q$ (Q – афелій комети).

Велика піввісь орбіти комети: $a = \frac{Q + q}{2} \approx \frac{Q}{2}$.

За III законом Кеплера $\frac{T^2}{T_3^2} = \frac{a^3}{a_3^3}$, де $a_3 = 1$ а.о., $T_3 = 1$ рік.

Звідси $T = \sqrt{\frac{T_3 a^3}{a_3^3}} \approx 18,5 \cdot 10^7$ років.

Конфігурації планет

Конфігурації (лат. *configuratio* - надання форми, розміщення) – деякі характерні взаємні розташування планет, Землі і Сонця.

Нижня планета (рис. 4) (орбіта якої міститься всередині орбіти Землі) може бути у *верхньому сполученні* (V_3), коли між планетою і Землею міститься Сонце, або в *нижньому сполученні* (V_1), коли вона - між Сонцем і Землею. В обох випадках планету не видно - вона ховається в яскравих променях Сонця. Поблизу *нижнього сполучення*, коли планета перебуває ближче до Землі, її можна бачити у вигляді тоненького серпа. Часом спостерігається проходження планети через видимий диск Сонця. У *нижньому сполученні планета* ближче усього до нас, а у *верхньому сполученні* вона від нас усього далі.

Нижню планету найкраще видно в *елонгації* (V_2 і V_4), тобто коли вона перебуває на найбільшій видимій кутовій відстані від Сонця (для Меркурія - $18-28^\circ$, для Венери - 48°). Тому *внутрішні планети завжди видні поблизу Сонця або ранком у*

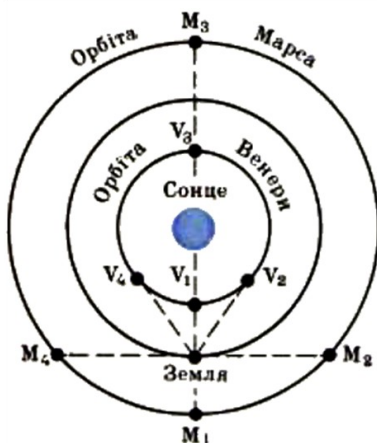


Рис. 4. Конфігурації планет

східній стороні неба, або в західній стороні неба ввечері. Через близькість Меркурія до Сонця побачити Меркурій вдається рідко. Венера відходить від Сонця на небі на більший кут, і вона яскравіша всіх зірок і планет. Після заходу Сонця вона довше залишається на небі в променях зорі і навіть на його тлі видно чітко. Так само добре вона буває видна й у променях ранкової зорі. Легко зрозуміти, що в південній стороні неба, і взагалі серед ночі, ні Меркурія, ні Венеру побачити не можна.

Якщо, проходячи між Землею і Сонцем, Меркурій чи Венера проєктуються на сонячний диск, то вони тоді видні на ньому як маленькі чорні кружечки. Подібні проходження по диску Сонця під час *нижнього сполучення* Меркурія, і особливо Венери, бувають рідко.

Освітлену Сонцем півкулю внутрішньої планети при різних положеннях її щодо Землі нам видно по різному. Тому для земних спостерігачів *внутрішні планети змінюють свої фази*, як Місяць. У нижньому сполученні із Сонцем планети повернені до нас своєю неосвітленою стороною і невидимі. Трохи осторонь від цього положення вони мають вид серпа. Зі збільшенням кутової відстані планети від Сонця кутовий діаметр серпа убуває, а ширина його робиться усе більшою. Коли кут при планеті між напрямками на Сонце і на Землю складає 90° , ми бачимо рівно половину освітленої півкулі планети. Повністю така планета звернена до нас своєю денною півкулею під час *верхнього сполучення*. Але тоді вона губиться в сонячних променях і невидима.

Верхню планету (орбіта якої знаходиться поза орбітою Землі) найкраще видно у *протистоянні* (M_1), коли її екліптична довгота відрізняється від довготи Сонця на 180° . Земля при

цьому виявляється між планетою і Сонцем. У протистоянні планета найбільш зручна для спостережень. Справді, планета в цей час ближче усього до Землі й у той же час повернена до неї усією своєю освітленою півкулею. З іншого боку, знаходячись на небі в місці, протилежному Сонцю, планета буває у верхній кульмінації опівночі і, отже, доступна для спостережень майже цілу ніч.

Положення планети, в якому довгота її відрізняється від довготи Сонця на 90° , називається *квадратурою* (M_2 і M_4). В квадратурах можуть бути лише верхні планети.

Гра 1. Розгадай ребуси

1. Ребус №1. (рис. 5).



Рис. 5. Ребус №1

2. Ребус №2 (рис. 6).



Рис. 6. Ребус №2

3. Ребус №3 (рис. 7).



Рис. 7. Ребус №3

4. Ребус №4 (рис. 8).



Рис. 8. Ребус №4

5. Ребус №5 (рис. 9).



Рис. 9. Ребус №5

6. Ребус №6 (рис. 10).



Рис. 10. Ребус №6

7. Ребус №7 (рис. 11).



Рис. 11. Ребус №7

8. Ребус №8 (рис. 12).



Рис. 12. Ребус №8

9. Ребус №9 (рис. 13).



Рис. 13. Ребус №9

10. Ребус №10 (рис. 14).



Рис. 10. Ребус №6

РОЗДІЛ II. ФІЗИКА СОНЯЧНОЇ СИСТЕМИ

Земля і Місяць. Природа тіл Сонячної системи.

Космічні дослідження об'єктів Сонячної системи. Рух штучних супутників і автоматичних міжпланетних станцій. Розвиток космонавтики. Космогонія Сонячної системи.

Підсумкова контрольна робота.

Земля і Місяць. Природа тіл Сонячної системи

Приклади розв'язування задач

Задача №10. Чи залежить зміна пір року від відстані Землі до Сонця (у перигелії Земля буває близько 3 січня, а в афелії – 5 липня)?

Не залежить. Зміна пір року на Землі (та інших планетах) пов'язана з кутом нахилу осі до площини орбіти.

Задача №11. У комети, що проходила недалеко від Землі, горизонтальний екваторіальний паралакс був $14'',5$, кутовий діаметр голови $15'$ і видима довжина хвоста 8° . Обчисліть лінійні розміри голови і нижню межу довжини хвоста комети. Спостерігач бачить проекцію хвоста на небесну сферу.

$p_0 = 14'',5$ $\rho = 15'$ $\lambda = 8^\circ$ $D = ?$	Відстань комети від Землі можна обчислити за формулою $r = \frac{206265''}{p_0} R_0$ тобто
--	--

$$r = \frac{206265''}{14'',5} 6378 = 90,73 \cdot 10^6 \text{ км, або при відомому}$$

паралаксі Сонця $p_\odot = 8'',794$ отримаємо

$$r = a_0 \frac{p_\odot}{p_0} = 1 \cdot \frac{8'',794}{14'',5} = 0,6065 \text{ а.о. або}$$

$$r = 0,6065 \cdot 149,6 \cdot 10^6 = 90,73 \cdot 10^6 \text{ км.}$$

Оскільки $\rho < 3^\circ$, то за формулою

$$R = r \frac{\rho'}{3438'} \quad (\text{де } \rho - \text{у хвилинах дуги}) \quad \text{лінійний діаметр}$$

голови

$$D = r \frac{\rho'}{3438'} = 90,73 \cdot 10^6 \frac{15''}{3438'} = 396 \cdot 10^3 \text{ км.}$$

Кутова довжина хвоста $\lambda = 8^\circ > 3^\circ$, тому для обчислення нижньої межі довжини хвоста використовуємо формулу

$$R = r \sin \rho :$$

$$l = r \sin \lambda = 0,6065 \cdot \sin 8^\circ = 0,6065 \cdot 0,1392 = 0,0844 \text{ а.о.},$$

$$l = 0,0844 \cdot 149,6 \cdot 10^6 = 12,6 \cdot 10^6 \text{ км.}$$

Відповідь: $396 \cdot 10^3$ км, $12,6 \cdot 10^6$ км.

Задача №12. Обчисліть першу і другу космічну швидкість на Юпітері, кругову і параболічну швидкість на відстанях у 3 і 8 його радіусів від поверхні, а також швидкість його першого супутника Іо, який обертається по круговій орбіті радіусом $421,6 \cdot 10^3$ км. Маса Юпітера дорівнює 318 мас Землі, а середній радіус – 10,9 радіусів Землі.

Дано:	
Юпітер	
$M=318$	
$R=10,9$	
$3R$	
$8R$	
Іо	
$a=421,6 \cdot 10^3 \text{ км}$	
$v_1-?$ $v_2-?$ $v_{к1}-?$	За формулою $v_1 = 7,91 \sqrt{\frac{M}{r}} \left(\frac{\text{км}}{\text{с}}\right)$, перша
$v_{к2}-?$ $v_{п1}-?$ $v_{п2}-?$	космічна швидкість
$v_{іо}-?$	$v_1 = 7,91 \sqrt{\frac{318}{10,9}} = 42,7 \left(\frac{\text{км}}{\text{с}}\right)$ і друга космічна
	швидкість
	$v_2 = v_1 \sqrt{2} = 42,7 \cdot 1,41 = 60,2 \left(\frac{\text{км}}{\text{с}}\right)$.

Кругова швидкість на різних відстанях $3R$ (або $4R$ від центра планети) і $8R$ (або $9R$ від центра планети)

$$v_{k1} = \frac{v_1}{\sqrt{r_1}} = \frac{42,7}{\sqrt{4}} = 21,4 \left(\frac{\text{км}}{\text{с}} \right) \quad \text{і}$$

$$v_{k2} = \frac{v_1}{\sqrt{r_2}} = \frac{42,7}{\sqrt{9}} = 14,2 \left(\frac{\text{км}}{\text{с}} \right), \quad \text{а параболічна швидкість}$$

$$v_{n1} = \frac{v_2}{\sqrt{r_1}} = \frac{60,2}{\sqrt{4}} = 30,1 \left(\frac{\text{км}}{\text{с}} \right) \quad \text{і}$$

$$v_{n2} = \frac{v_2}{\sqrt{r_2}} = \frac{60,2}{\sqrt{9}} = 20,1 \left(\frac{\text{км}}{\text{с}} \right).$$

Відповідно до формули $v_{Io} = 631,3 \sqrt{\frac{M}{r}} \left(\frac{\text{км}}{\text{с}} \right)$ маємо

$$v_{Io} = 631,3 \sqrt{\frac{318}{421,6 \cdot 10^3}} = 17,3 \left(\frac{\text{км}}{\text{с}} \right).$$

Задача №13. У скільки разів потрібно було б збільшити швидкість обертання Землі навколо своєї осі, щоб тіла на екваторі важили вдвічі менше, ніж на полюсі? Вважайте, що форма Землі не змінилася б.

Тіла на екваторі беруть участь у добовому обертанні Землі, при цьому їхнє доцентрове прискорення

$$a = \omega^2 R = \frac{4\pi^2 R}{T^2}$$

спрямоване до центра Землі і вага тіла дорівнює $P = m(g - a)$.

Тут ω і T – кутова швидкість і період добового обертання Землі. Відповідно до умови $a = g/2$, звідки

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{2R}{g}}$$

Підставивши числові значення, одержимо $T=2$ год. Таким чином, щоб тіла на екваторі важили вдвічі менше, ніж на полюсі, швидкість обертання Землі необхідно збільшити у 12 разів. Якщо швидкість планети значно збільшилася, то планета була б дуже сплюснута у полюсів.

Задача №14. Що характерно для обертання супутників планет-гігантів навколо своєї осі?

У більшості відомих супутників планет-гігантів періоди обертання збігаються з періодами обертання навколо планет, тому супутники завжди повернені до планети одною стороною.

Задача №15. Які періоди обертання астероїдів, що відстоять від Сонця на 2,2 а.о. і 3,6 а.о.?

За третім законом Кеплера

$$\frac{T^2}{T_3^2} = \frac{a^3}{a_3^3}$$

звідки $T = \sqrt{\frac{a^3 \cdot T_3^2}{a_3^3}}$, тоді $\frac{T^2}{T_3^2} = \frac{a^3}{a_3^3}$

$$T_2 = \sqrt{\frac{(3,6)^3 \cdot 1}{1^3}} \approx 6,8 \text{ року.}$$

Задача №16. Застосувавши правило Тиціуса-Боде, визначте відстань Юпітера до Сонця ($n=4$).

Планети Сонячної системи розташовані на відстанях, які підпорядковуються правилу Тиціуса-Боде: $r=(0,4+0,3 \cdot 2^n)$ а.о., де $n=-\infty$ (Меркурій), $n=0$ (Венера), $n=1$ (Земля), $n=2$ (Марс), $n=4$ (Юпітер), $n=5$ (Сатурн), $n=6$ (Уран).

Отже, відстань від Юпітера до Сонця: $r=(0,4+0,3 \cdot 2^4)=5,2$ а.о.

Задача №17. У романі „Повітряний корабель” Жуль Верн пише: „Отже, у нас остаточно встановлений факт, що Фріколін був страшний боягуз. Одним словом, він, по приказці, був „боязкий, як Місяць”. Тут я зроблю відступ

і скористаюся випадком для заяви гучного протесту... По якому праву звинувачують в боязкості планету, яка з тих часів, як мир існує, дивилася Землі прямо в обличчя і ніколи не повертала до неї свою спину?”

Чи має рацію Жюль Верн, стверджуючи, що Місяць ніколи не повертає до Землі свою „спину”?

Місяць завжди звернений до Землі одним боком. Проте людина, навіть знаходячись на Землі, все ж таки має можливість трохи заглянути на невидимий бік Місяця! Унаслідок так званих лібрацій Місяця, тобто „похитувань”. Із-за особливостей обертання Місяця навколо Землі земний спостерігач має можливість як би заглянути трохи за край місячного диска: з „боків” майже на 8° , з полюсів - майже на 7° . Причину цього явища ми тут не розглядаємо. Завдяки місячним лібраціям людина має можливість спостерігати не половину всієї місячної поверхні, а приблизно 60% її. І лише близько 40% поверхні Місяця залишається все ж таки абсолютно недоступними для спостереження із Землі. Отже Місяць, хоч і ніколи не показує нам свою „спину”, але і не повернений весь час одним лише „обличчям”.

На двох приведених тут фотографіях зображений повний Місяць. Придивіться уважно, особливо до деталей, розташованих по краю диска, і ви помітите, що Місяць по-вернутий до Землі трохи по-різному.

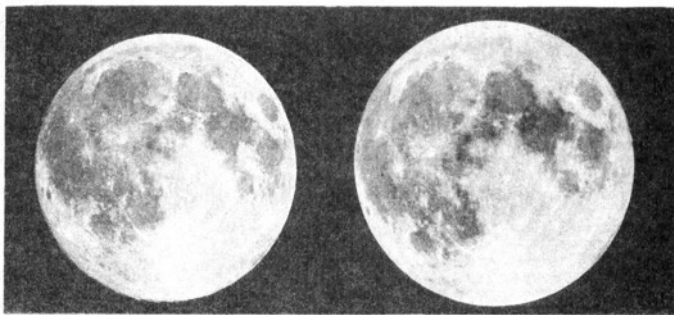


Рис. 11. Фото Місяця

Порівнюючи ці дві фотографії, можна переконатися, що диск Місяця (особливо добре видно по деталях на лівому краю диска) із-за лібрації повернений до нас не завжди однаково.

Задача №17. Мандрівник випадково опинився в одній із полярних зон Землі. Погода вночі стоїть ясна, але він не знає зоряного неба. Як йому дізнатися про те, у якій півкулі Землі він знаходиться

Визначити який полюс планети є північним, а який південним можна в такий спосіб: з Північного полюса світу добове обертання планети виглядає як таке, що відбувається проти ходу годинникової стрілки. Тому обертання небесної сфери для спостерігача, який знаходиться у Північній півкулі планети, відбувається за годинниковою стрілкою, тобто зі сходу на захід. А у Південній півкулі це обертання, навпаки, виглядає як таке, що відбувається із заходу на схід. При цьому різниця в обертанні небесної сфери найбільш виразно виявляється саме в полярних зонах. Тому, спостерігаючи деякий час за переміщенням зір у їхньому добовому русі, мандрівник може визначити, на яку півкулю Землі він потрапив.

Задача №18. Скільки має тривати доба на Землі для того, щоб на екваторі нашої планети всі тіла були в стані невагомості? Вважайте, що радіус Землі дорівнює 6400 км.

Для стану невагомості необхідно, щоб прискорення вільного падіння дорівнювало доцентровому прискоренню:

$$g = \omega^2 \cdot R_{\text{З}}$$
, де $\omega = \frac{2\pi}{T}$ - кутова швидкість обертання Землі навколо осі,
T- тривалість доби.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{R_{\text{З}}}{g}}$$

Із цих формул знаходимо:

Це формула для періоду коливань математичного маятника, у якого довжина дорівнює радіусу Землі.

Підставляючи числові дані знаходимо:

$T=5024 \text{ с} \approx 1,4 \text{ години.}$

Задача №19. Чому іноді називають комети „видимим ніщо”? Як було доведено, що комети не мають скільки-небудь значного твердого ядра?

Комети не викликають ніяких збурень у рухах планет, біля яких вони проходять, а самі, навпаки, піддаються з їхнього боку сильним збуренням. При проходженні комет у безпосередній близькості від Сонця (як би по сонячному диску) комети цілком зливаються з загальним сонячним фоном, і на цьому фоні ніколи не було помічено ніяких темних плям. Виходить, ядра комет такі малі, що їх неможливо помітити навіть за допомогою оптичних інструментів.

2.1. Найбільшою складовою атмосфери біля поверхні Землі...

а) кисень; **б)** водень; **в)** азот; **г)** гідроген.

2.2. На поверхні Землі величезну сонячну енергію акумулюють...

а) пустелі; **б)** ліси; **в)** гори; **г)** моря і океани.

2.3. Температура всередині Землі з глибиною...

а) зростає кожні 34 м на 10°C ; **б)** не змінюється;

в) зменшується кожні 34 м на 10°C ;

г) залежить від пори року.

2.4. Планета Сонячної системи, яка має гідросферу:

а) Юпітер; **б)** Сатурн; **в)** Земля; **г)** Марс.

2.5. Поверхня Землі має форму:

а) кулі; **б)** еліпсоїда; **в)** геоїда; **г)** гіперкулі.

2.6. Парниковий ефект в атмосфері Землі створює:

а) вуглекислий газ; **б)** пара води; **в)** азот;

г) чадний газ; **в)** хмари.

2.7. На поверхні Землі зареєстровано таку найнижчу температуру:

а) -53°C ; **б)** -65°C ; **в)** -77°C ; **г)** -68°C ; **в)** -88°C .

2.8. На поверхні Марса зареєстровано таку найвищу температуру:

а) $+240^{\circ}\text{C}$; **б)** $+190^{\circ}\text{C}$; **в)** $+140^{\circ}\text{C}$; **г)** $+100^{\circ}\text{C}$; **в)** $+60^{\circ}\text{C}$.

2.9. Уперше в історії людства досяг поверхні Місяця космічний апарат:

а) 1968 р., „Аполлон-11”, США; **б)** 1970 р., місяцехід, СРСР; **в)** 1966 р., „Луна-9”, СРСР; **г)** 1965 р., „Аполлон-1”, США;

д) 1959 р., „Луна-2”, СРСР.

2.10. До складу поверхневого шару Місяця входять:

а) скляні кульки; **б)** цемент; **в)** іржа; **г)** сніг; **д)** пісок.

2.11. Скільки часу триває день на Місяці?

а) 12 год; **б)** 15 год; **в)** 15 земних діб;

г) 27 земних діб; **д)** 29,5 земної доби.

2.12. Вага космонавтів на поверхні Місяця:

а) у 4 рази більше, ніж на Землі;

б) у 4 рази менше, ніж на Землі;

в) у 6 разів більше, ніж на Землі;

г) у 6 разів менша, ніж на Землі.

д) така ж, як на Землі.

2.13. Джерелом інформації про внутрішню будову Землі є..

а) геологія; **б)** астрогеодезія; **в)** сейсмологія; **г)** геодезія.

2.14. Атмосфера Місяця...

а) складається переважно з кисню;

б) складається переважно з водню;

в) складається переважно з азоту;

г) відсутня;

2.15. У морях Місяця...

а) прісна вода; **б)** солоня вода;

в) вологи немає; **г)** рідкий азот;

2.16. Перший крок по поверхні Місяця зробив...

а) Юрій Гагарін; **б)** Валентина Терешкова;

в) Георгій Гречко; **г)** Нейл Армстронг;

2.17. Поверхня Місяця вкрита....

а) оксидом заліза; **б)** льодом; **в)** реголітом; **г)** камінням.

2.18. Новий Місяць:

а) можна побачити під час сонячних затемнень;

б) можна спостерігати в північній частині небосхилу;

в) майже ніколи невидний, бо до нас повернена його нічна півкуля;

г) свій варіант;

2.19. Перша чверть настає...

а) на початку календарного місяця;

б) коли до Землі повернені половина денного і половина

нічного боку Місяця;

в) опівночі; **г)** свій варіант.

2.20. Повня настає ...

а) 15 числа кожного місяця; **б)** влітку;

в) коли Місяць розташовується з протилежного боку від Сонця;

г) свій варіант.

2.21. Остання чверть спостерігається...

а) наприкінці місяця;

б) після заходу у східній частині небосхилу;

в) перед світанком у південно-східній частині небосхилу;

г) свій варіант.

2.22. До планет земної групи відносяться...

а) Меркурій, Венера, Сатурн, Юпітер;

б) Юпітер, Сатурн, Уран, Нептун;

в) Уран, Нептун; Земля і Марс;

г) Меркурій, Венера, Земля і Марс.

2.23. Яка з планет не належить до земної групи?

а) Меркурій,

б) Марс;

в) Юпітер;

г) Венера.

2.24. Яка з планет належить до земної групи?

а) Марс;

б) Нептун;

в) Сатурн ;

г) Юпітер.

2.25. Уміст якої речовини в атмосфері спричиняє парниковий ефект?

а) вуглекислий газ; **б)** кисень; **в)** азот; **г)** водяна пара.

2.26. Найменшою планетою Сонячної системи є...

а) Уран; **б)** Меркурій; **в)** Венера; **г)** Марс.

2.27. Планета, що обертається навколо осі в зворотному напрямку...

а) Марс; **б)** Уран; **в)** Венера; **г)** Сатурн.

2.28. Назви кратерів на Венері дають на честь...

- а)** видатних жінок; **б)** артистів;
- в)** космонавтів; **г)** письменників.

2.29. Венеріанська атмосфера складається переважно з ...

- а)** азоту; **б)** кисню; **в)** вуглекислого газу; **г)** водяної пари.

2.30. З поверхні цієї планети ніколи не можна побачити Сонце...

- а)** Марс; **б)** Венера; **в)** Меркурій; **г)** Земля.

2.31. Планети земної групи, що мають супутники...

- а)** Земля; **б)** Меркурій; **в)** Марс; **г)** Венера.

2.32. Головна складова атмосфери Марса...

- а)** азот; **б)** кисень; **в)** вуглекислий газ; **г)** водяна пара.

2.33. На якій планеті розташована найвища гора Сонячної системи вулкан Олімп?

- а)** Земля; **б)** Марс; **в)** Венера; **г)** Юпітер.

2.34. Чому на поверхні Венери переважають червоні кольори?

а) На Венері атмосфера пропускає сонячне випромінювання практично тільки в червоній частині спектра;

б) поверхня Венери має температуру $+480^{\circ}\text{C}$ і світиться в червоній частині спектра;

в) на Венері багато діючих вулканів, із яких витікає розплавлена магла червоного кольору.

г) на Венері дують сильні вітри й виникають пилові бурі, під час яких червоний пісок здіймається в повітря.

д) на Венері багато заліза, тому іржа дає червоний колір поверхні.

2.35. Чи можуть космонавти ходити по поверхні Венери?

а) Зможуть ходити без скафандрів, бо там такі ж умови, як на Землі;

б) зможуть ходити в скафандрах;

в) не зможуть ходити навіть у скафандрах, бо атмосферний тиск 90 атм. не витримає жоден скафандр;

г) не зможуть ходити навіть у скафандрах, бо на Венері немає твердої поверхні;

д) не зможуть ходити, бо сильні кислотні дощі виведуть із ладу будь-який скафандр.

2.36. Чим пояснюється червоний колір марсіанського ґрунту?

а) На Марсі атмосфера пропускає сонячне випромінювання лише в червоній частині спектра;

б) поверхня Марса має температуру $+500^{\circ}\text{C}$ і світиться в червоній частині спектра.

в) на Марсі багато діючих вулканів, із яких витікає розплавлена маґма червоного кольору;

г) на Марсі дують сильні вітри й виникають пилові бурі, під час яких червонуватий пісок здіймається в повітря;

д) на Марсі багато заліза, тому іржа дає червоний колір поверхні.

2.37. Яка з планет не є планетою-гігантом?

а) Марс; **б)** Сатурн; **в)** Уран; **г)** Юпітер.

2.38. Основний компонент атмосфери Юпітера...

а) кисень; **б)** вуглекислий газ; **в)** азот; **г)** водень.

2.39. Планета, вісь обертання якої майже лежить у площині орбіти...

а) Венера; **б)** Уран; **в)** Нептун; **г)** Сатурн.

2.40. Найбільша планета Сонячної системи...

а) Юпітер; **б)** Нептун; **в)** Уран; **г)** Сатурн.

2.41. На якій планеті розташована Велика Червона Пляма?

а) Венера; **б)** Юпітер; **в)** Марс; **г)** Нептун.

2.42. На якій планеті розташована Велика Темна Пляма?

а) Уран; **б)** Сатурн; **в)** Нептун; **г)** Меркурій.

2.43. Пілотовані космічні кораблі ніколи не зроблять посадку на...

а) Сатурн; **б)** Меркурій; **в)** Нептун; **г)** Венеру.

2.44. Планета-гігант, що обертається в зворотному напрямку (зі сходу на захід)

а) Сатурн; **б)** Нептун; **в)** Уран; **г)** Юпітер.

2.45. Існування цієї планети спочатку було розраховане теоретично Левер'є, а потім відкрите за допомогою телескопа німецьким астрономом Галле...

а) Юпітер; **б)** Венеру; **в)** Нептун; **г)** Уран.

2.45. Чому кільця Сатурна інколи стають невидимими?

- а) матеріал кілець не відбиває світло;
- б) кільця перпендикулярні площині екватора;
- в) ми бачимо їх з ребра;
- г) свій варіант.

2.46. Між Юпітером і Ураном знаходиться...

- а) Венера; б) Нептун; в) Сатурн; г) Марс.

2.47. На якій з планет найменша доба?

- а) Земля; б) Марс; в) Юпітер; г) Сатурн.

2.48. Найбільшим запасом води у Сонячній системі володіє...

- а) Нептун; б) Земля; в) Уран; г) Юпітер.

2.49. У космос випромінюють більше енергії, ніж отримують...

- а) Юпітер, Сатурн, Нептун; б) Уран, Нептун, Земля, Марс;
- в) Юпітер, Сатурн, Уран, Нептун;
- г) Меркурій, Венера, Земля і Марс;

2.50. Які гази є основним компонентом атмосфери планет-гігантів?

- а) Кисень і азот; б) водень і кисень; в) азот і водень;
- г) кисень і вуглекислий газ; д) водень і гелій.

2.51. Велику Червону Пляму помічено на планеті:

- а) Марс; б) Юпітер; в) Уран; г) Сатурн; д) Нептун.

2.52. Велика Чорна Пляма знаходиться на планеті:

- а) Юпітер; б) Сатурн; в) Уран; г) Нептун; д) Марс.

2.53. Велику Червону Пляму утворює:

- а) велетенський вулкан на поверхні Юпітера;
- б) велетенський вулкан на поверхні Сатурна;
- в) вихор в атмосфері Юпітера;
- г) вихор в атмосфері Нептуна.

2.54. Температура під хмарами планет-гегантів:

а) збільшується, бо в надрах планет відбувається термоядерні реакції.

б) збільшується, бо в надрах цих планет зростають тиск і густина.

в) зменшується, бо білі хмари на цих планетах відбивають сонячну енергію;

г) зменшується, бо суцільна хмарність не пропускає сонячної енергії і на поверхні цих планет стоїть лютий мороз – 200°C ;

д) залишається сталою.

2.55. Під хмарами на поверхні Юпітера можуть існувати:

а) материки й океани рідкої води за температури $+20^{\circ}\text{C}$;

б) тверда поверхня з металічною водою за температури -250°C ;

в) океан рідкого водню за температури $+2000^{\circ}\text{C}$;

г) крига й замерзлий океан із води;

д) крига й замерзлий океан із метану.

2.56. На якій планеті Сонячної системи в хмарах найнижча температура опускається до -215°C ?

а) На Землі; б) на Марсі; в) на Юпітері; г) на Сатурні;

д) на Урані; е) на Нептуні.

2.57. Яка планета Сонячної системи наприкінці ХХ ст. знаходилась найдалі від Сонця?

а) Юпітер; б) Сатурн; в) Уран; г) Нептун; д) Плутон.

2.58. Галілеєві супутники

а) Деймос і Фобос; б) 4 супутники Юпітера;

в) Титан і Рея; г) 3 супутники Нептуна.

2.59. Рік відкриття якого супутника невідомий?

а) Тритона; б) Діони; в) Місяця; г) Європи.

2.60. Найбільший супутник Сонячної системи...

а) Ганімед; б) Фобос; в) Титан; г) Аріель.

2.61. Великий супутник серед тіл Сонячної системи, який рухається навколо своєї планети в зворотному напрямку...

а) Каллісто; б) Тритон; в) Япет; г) Оберон.

2.62. Найбільшу геологічну активність має супутник...

а) Аріель; б) Фобос; в) Іо; г) Ганімед.

2.63. Кільця мають...

а) Меркурій, Сатурн, Уран, Нептун;

б) Юпітер, Сатурн, Уран, Нептун;

в) Марс, Юпітер, Сатурн, Уран;

г) Венера, Меркурій, Сатурн, Уран.

2.64. Найбільше супутників має...

а) Марс; **б)** Сатурн; **в)** Юпітер; **г)** Нептун.

2.65. Найменше супутників має...

а) Земля; **б)** Марс; **в)** Нептун; **г)** Юпітер.

2.66. Фантастичною гамою кольорів привертає увагу...

а) Міранда; **б)** Іо; **в)** Енцелад; **г)** Япет.

2.67. Кільця яких планет були відкриті за спостереженнями із Землі?

а) Юпітера, Сатурна; **б)** Юпітера, Урана;

в) Сатурна, Нептуна; **г)** Сатурна, Урана;

д) Урана, Нептуна.

2.68. Як перекладаються назви супутників Марса Фобос і Демос?

а) Туман і мряка; **б)** сніг і дощ; **в)** Страх і Жах;

Г) війна і голод; **д)** сміх і радість.

2.69. Які супутники відкрив Галілей за допомогою першого телескопа?

а) Фобос і Демос; **б)** Титан, Япет та Енцелад;

в) Мімас, Янус, Рею й Тefію; **г)** Тритон, Медузу та Нереїду;

д) Іо, Ганімед, Калісто та Європу.

2.70. Що означає межа Роша?

а) Межа, за яку не можуть долетіти сучасні ракети;

б) межа на відстані 100 а. о. від Сонця, куди ще не долетіли автоматичні міжпланетні станції;

в) межа на відстані 2,4 радіуса планети, де не можуть обертатись штучні супутники Землі;

г) межа на відстані 2,4 радіуса планети, де не можуть обертатись великі супутники планет;

д) чорна дірка, куди зникають супутники планет.

2.71. Визначте швидкість руху Місяця відносно Землі і період його обертання навколо Землі. Вважайте, що Місяць рухається по коловій орбіті радіуса 384000 км.

2.72. Чи можна із Землі побачити неозброєним оком, роздільна здатність якого 2', море Криз, якщо його діаметр дорівнює 400 км? Відстань від Землі до Місяця $3,8 \cdot 10^5$ км.

2.73. Обчисліть відношення мас Сонця і Землі за такими

даними: Місяць здійснює 13 обертів впродовж року; середня відстань від Сонця до Землі в 390 разів більша відстані від Місяця до Землі.

2.74. Визначити прискорення вільного падіння на поверхні планет Марса і Венери, а також астероїда Церери. Маса і радіуси порівняно із земними: у Марса - 0,107 і 0,533, у Венери - 0,815 і 0,950, у Церери - $28,9 \cdot 10^{-5}$ і 0,0784.

2.75. Маса Місяця у 81,3 рази, а діаметр у 3,67 рази менше земних. У скільки разів вага астронавтів була менша на Місяці, ніж на Землі?

2.76. Чому дорівнює прискорення вільного падіння на поверхні Сонця і Сатурну, радіуси яких більше земного в 109,1 і 9,08 рази, а середня густина порівняно із землею складає 0,255 і 0,127?

2.77. Як змінилося б прискорення вільного падіння на поверхні планети при збільшенні її маси в m разів, а середньої густини в n разів і, зокрема, при $m=n$?

2.78. Яким стало б прискорення вільного падіння на поверхні Сонця, якби при тій же масі воно збільшилося у діаметрі до розмірів земної орбіти? Маса Сонця в 333 тис. разів більше земної, а його діаметр рівний 1392000 км.

2.79. Як змінилося б прискорення вільного падіння на Землі при незмінній масі і збільшенні її розмірів в 60,3 рази, тобто до орбіти Місяця?

2.80. Знайти гравітаційне прискорення двох галілеєвих супутників Юпітера, Іо і Калісто, що обертаються навколо планети на середніх відстанях в 5,92 і 26,41 її радіусу. Маса Юпітера дорівнює 318, а радіус - 10,9 земного.

2.81. Вказати розташування загального центру мас Землі і Місяця, прийнявши радіус Землі 6370 км., масу Місяця рівною $1/81$ земної маси і відстань між тілами - 60 земним радіусам.

2.82. У одному з фантастичних оповідань написано, що у третьому тисячолітті земляни вирішили побудувати у Сонячній системі монорельсову дорогу із спеціально обробленого земного ґрунту. Який шар треба зняти з поверхні Землі, щоб ця

дорога по прямій дістала до орбіти Нептуна? Вважайте, що рейка має в перетині вид прямокутника 5х10см. [24, с. 49]

2.83. Планету видно на відстані 48° від Сонця. Це зовнішня чи внутрішня планета?

2.84. Яка конфігурація є найкращою для спостереження Марса?

2.85. Якщо планета опиняється у протистоянні, чи видно її на небі увечері, після настання темряви? Чи буде її видно під ранок, до сходу Сонця?

2.86. У якої планети видимий діаметр при спостереженні із Землі може досягати $1'$?

2.87. У скільки разів відрізняються видимі кутові діаметри Венери у нижньому сполученні і у найбільшій елонгації?

2.88. Ми спостерігаємо Марс у східній квадратурі. У якій конфігурації при цьому видна Земля з Марса?

2.89. Марс і Юпітер спостерігаються у західній квадратурі. Яка між ними відстань? Відповідь дайте у астрономічних одиницях.

2.90. Відомо, що час від часу кільця Сатурна зникають для земного спостерігача. Чому відбувається це явище і як часто воно відбувається?

2.91. Чому Сатурн за меншої швидкості обертання навколо вісі більше сплюснутий у полісів, ніж Юпітер? [7, с.]

2.92. На обертання якої планети впливає Земля?

2.93. Метеорний потік Леоніди різко посилюється раз у 33 роки. Знайдіть афелійну відстань комети Темпеля-Туттля – прашура потоку.

2.94. З якими швидкостями метеорні тіла влітають в атмосферу Землі? [26, с.]

2.95. Чи можна побачити кільця Сатурна з його поверхні?

2.96. На якій планеті і чому Сонце сходить на заході і заходить на сході?

2.97. На якій планеті і чому Сонце може зупинитися на небі і навіть на короткий час рухатися в оберненому напрямку?

2.98. Поясніть, чому Місяць і Сонце під час сходу і заходу здаються сплюснутими.

2.99. Чому найменш цікавий час для спостереження Місяця – фази під час повного місяця?

2.100. Синодичний період обертання Юпітера під час спостережень із Землі дорівнює 399 діб. Чому дорівнює синодичний період обертання Землі під час спостережень з Юпітера?

Самостійна робота №4

Варіант 1

1. Планети Земля і Марс мають:

- а)** великі розміри і малі маси; **б)** один чи два супутники;
- в)** найщільніші атмосфери серед планет Сонячної системи.

2. Планета Юпітер:

- а)** має кільця, які вперше спостерігав Галілео Галілей;
- б)** не має магнітного поля;
- в)** має в атмосфері велику червону пляму.

3. Астероїди і метеорні тіла:

- а)** не рухаються навколо Сонця; **б)** не мають атмосфери;
- в)** мають хвости, спрямовані від Сонця.

4. Через які проміжки часу зорі кульмінують на Місяці?

5. Що таке радіаційний пояс Землі?

Варіант 2

1. Планети земної групи:

- а)** мають великі розміри і маси;
- б)** мають невеликі розміри і маси;
- в)** швидко обертаються навколо своїх осей.

2. Планета Сатурн:

- а)** не має супутників;
- б)** невидима із Землі при спостереженні неозброєним оком;
- в)** має густу атмосферу.

3. Болід – це:

- а)** залишок метеорного тіла, що не згорів в атмосфері і випав на Землю;
- б)** мала планета, що рухається навколо Сонця;
- в)** дуже яскравий метеор, подібний на летючу

вогненну кулю.

4. У чому причина набагато вищої температури в атмосфері Венери у порівнянні із Землею?

5. Що таке термінатор?

Космічні дослідження об'єктів Сонячної системи.

Рух штучних супутників і автоматичних міжпланетних станцій. Розвиток космонавтики. Космогонія Сонячної системи

Приклади розв'язування задач

Задача №20. Маса блакитної планети у 6 разів більша маси Землі. Який радіус цієї планети, якщо прискорення вільного падіння на її поверхні таке ж, як на Землі?

$\begin{array}{l} M=6M_3 \\ a=g \\ R=? \end{array}$	$\left \begin{array}{l} \text{Як впливає з II закону Ньютона і закону всесвітнього тяжіння, } mg = G \frac{M_3 m}{R_3^2} \text{ (} m \text{ – маса тіла, яке знаходиться}$
---	---

на поверхні Землі). Звідси $g = G \frac{M_3}{R_3^2}$. Аналогічно одержуємо

$a = G \frac{M}{R^2}$ (тут a – прискорення вільного падіння на поверхні блакитної планети).

Прирівнявши вирази для a і g , знаходимо $R = R_3 \sqrt{\frac{M}{M_3}}$.

$$\{R\} = 6,4 \cdot 10^6 \sqrt{6} = 15,7 \cdot 10^6 (\text{м}).$$

Відповідь: радіус планети дорівнює 15700 км.

Задача №21. Штучний супутник Землі має масу 100 кг і обертається навколо Землі по колу радіусом, який дорівнює середній відстані Місяця від Землі. Супутник складається з двох однакових частин, які з'єднані стрижнем. За командою із

Землі у стрижні спрацьовує імпульсний двигун, який відстрілює дві частини одна від одної. Яка енергія необхідна, щоб після такого маневру з околиць Землі улетіла одна з двох частин супутника? обидві частини супутника? Який напрямок імпульсу енергетично більш вигідний у першому і другому випадках?[26, с. 23]

Дано:

$m=100$ кг

E_1 -?

E_2 -?

За III законом Ньютона у результаті роботи двигуна у стрижні дві однакові частини супутника отримують приріст швидкості, рівний за величиною і протилежний за напрямком. Якщо перед нами стоїть задача вивести з поля тяжіння Землі лише одну частину, то можна використати її обертання навколор Землі, надавши їй додаткову швидкість у тому ж напрямку (рис. 12,а). При цьому другий супутник перейде на еліптичну орбіту.

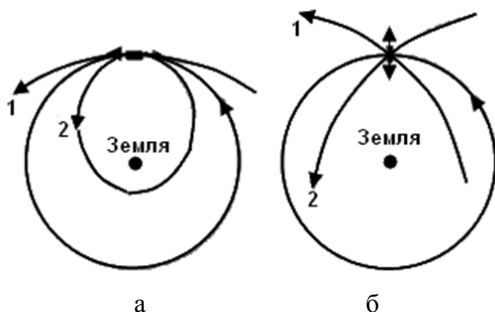


Рис. 12. До задачі №21

Приріст швидкості, який отримує перша частина супутника, дорівнює різниці другої і першої космічних швидкостей для даної відстані від Землі:

$$\Delta v = v_2 - v_1 = \sqrt{\frac{2GM}{R}} - \sqrt{\frac{GM}{R}} = \sqrt{\frac{GM}{R}}(\sqrt{2} - 1)$$

Тут M - маса Землі, R - радіус кругової орбіти супутника, який дорівнює середній відстані до Місяця. Друга частина супутника отримує такий самий модуль приросту швидкості. У системі відліку, яка рухалася до ввімкнення двигуна разом із супутником, обидві частини знаходились у стані спокою, а після його роботи стали рухатися зі швидкістю Δv . Отже, отримана ними енергія дорівнює

$$E_1 = \frac{m(\Delta v)^2}{2} = \frac{3 - 2\sqrt{2}}{2} \frac{GMm}{R},$$

що складає $8,89 \cdot 10^6$ Дж. Тут m - маса супутника (обох

частин разом). Якщо необхідно вивести на параболічні орбіти обидві частини супутника, то надавати їм імпульс, паралельний напрямку їх орбітального руху, уже буде енергетично не вигідно, так як це буде сприяти переводу на параболічну орбіту однієї частини, але суттєво ускладнить перехід другої частини. Найпростіше надати обом частинам приріст швидкості, перпендикулярно їх орбітальному руху (рис.12,б). Щоб обидві частини після імпульсу мали другу космічну швидкість, приріст повинен дорівнювати

$$\Delta v = \sqrt{v_2^2 - v_1^2} = \sqrt{\frac{GM}{R}},$$

тобто першій космічній швидкості. Для цього потрібна енергія

$$E_2 = \frac{m(\Delta v)^2}{2} = \frac{GMm}{R},$$

рівна $5,18 \cdot 10^7$ Дж. Такий самий результат можна отримати використовуючи закон збереження енергії з урахуванням того, що всі частини супутника у результаті покинуть околиці Землі. Відповідь: $8,89 \cdot 10^6$ Дж; $5,18 \cdot 10^7$ Дж.

Задача №22. Яку початкову кругову швидкість необхідно надати тілу, піднятому на висоту 630 км, щоб воно стало штучним супутником Землі? [15, с. 30]

$$M_0 = 6 \cdot 10^{24} \text{ кг}$$

$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2}$$

$$h = 6,30 \cdot 10^5 \text{ м}$$

$$R_0 \approx 6,37 \cdot 10^6 \text{ м}$$

$$R_0 + h = 7 \cdot 10^6 \text{ м}$$

$$v_1 = ?$$

Так як мова йде про величину першої космічної швидкості над поверхнею Землі, то використовуємо формулу:

$$v_1 = \sqrt{\frac{GM}{R_0 + h}}.$$

$$\{v_1\} = \sqrt{\frac{6,67 \cdot 10^{-11} \cdot 6 \cdot 10^{24}}{7 \cdot 10^6}} \approx 7,6 \cdot 10^3 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}}\right).$$

Відповідь: $\approx 7,6$ км/с.

Задача №23. Скільки часу необхідно затратити, щоб долетіти із Землі на Марс, якщо рухатися орбітою, перигелійна відстань (q) якої дорівнює відстані від Сонця до Землі, а афелійна (r_m) складає $1,5$ а.о.? [15, с. 30]

$q = 1 \text{ а.о.}$	Оскільки велика вісь еліптичної орбіти
$r_m = 1,5 \text{ а.о.}$	дорівнює $2a = r_m + q$, то $a_{\text{кор}} = \frac{r_m + q}{2}$,
$t = ?$	тобто велика піввісь орбіти корабля буде $a = 1,25 \text{ а.о.}$

Застосувавши третій закон Кеплера до руху Землі навколо Сонця і корабля у полі тяжіння Сонця, отримаємо:

$$\frac{T_{\text{кор}}^2}{T^2} = \frac{a_{\text{кор}}^3}{a^3}, \text{ звідки сидеричний період корабля } T_{\text{кор}} = 1,4 \text{ роки,}$$

$$\text{а шуканий час польоту } t = \frac{T_{\text{кор}}}{2} = 0,7 \text{ роки.}$$

Відповідь: 0,7 роки.

2.101. Знайти швидкість і періоди обертання штучних супутників за однакової висоти у 200 км і 1000 км над поверхнею Землі, Місяця, Марса і Юпітера. Маса цих небесних тіл у тій же послідовності дорівнюють 1; 0,0123; 0,107; і 318 мас Землі, а радіуси – 6370 км, 1738 км, 3400 км і 71400 км.

2.102. Якими орбітами будуть рухатися штучні небесні тіла, запуснені з горизонтальною швидкістю 9,5 км/с на висоті 200 км над поверхнею Землі, Марса і Юпітера? (Дані до задачі 2.102)

2.103. На якій мінімальній висоті і з якою швидкістю повинні бути виведені на еліптичні орбіти з ексцентриситетом 0,100 і 0,600 штучні супутники, щоб вони обертались з періодами у 2 год і 8 год навколо Меркурія і Венери, маси яких, у порів-

нянні із земною, відповідно 0,055 і 0,815, а радіуси – 2440 км і 6050 км?

2.104. Чому штучні супутники Землі при спостереженні із Землі ніби змінюють блиск?

2.105. Чи можна у кабіні космічного корабля, який обертається навколо Землі по колу на висоті 100 км, зважувати на пружинних терезах? А на висоті 1000 км?

2.106. Чому всередині космічного корабля, що летить з виключеними двигунами, тіла невагомі?

2.107. Куди повинен бути скинутий на парашуті контейнер з тваринами, щоб космонавт, що летить круговою орбітою, повернув їх на Землю?

2.108. Чому усі космічні ракети, що стартують з поверхні Землі, запускають вертикально, хоч раніше вважалося що такі запуски будуть відбуватися з похилих естакад?

2.109. Чи буде збільшуватися швидкість ракети, якщо швидкість витікання газів відносно ракети менше швидкості самої ракети відносно Землі?

2.110. Швидкість витікання газів відносно ракети що стартує не більше 4 км/с. Яким чином ракета може досягнути першої і навіть другої космічної швидкостей?

2.111. Під яким кутом до горизонту повинен бути запущений космічний апарат, щоб він полетів по параболичній орбіті?

2.112. Космічний апарат починає рух від Землі з другою космічною швидкістю. Як далеко він полетить від Землі?

2.113. Третя космічна швидкість (16,7 км/с) – це швидкість, яку необхідно надати космічному тілу, щоб воно назавжди залишило Сонячну систему. Чому ця швидкість менше параболичної для Сонця на відстані Землі?

2.114. Штучне космічне тіло почало рух від Землі з третьою космічною швидкістю. Як швидко воно долетить до зірок

2.115. Який супутник і навіщо було зроблено з урану?

2.116. На Місяці встановлені кутові лазерні відбивачі для відбивання на Землю посланого до них сигналу. Цей метод дозволяє визначити точну відстань до відбивача по часу проходження світлового сигналу туди і назад. Обчисліть цей

час, якщо відбивач буде встановлено на Марсі, а експеримент з ним буде відбуватися поблизу квадратури Марса. Орбіту планети вважати круговою [5, с. 220].

Самостійна робота №5

Варіант 1

1. Чому відсіки пілотованих космічних кораблів покривають шаром кераміки?

2. Американський штучний супутник Землі китайського походження масою $m = 200$ кг, який рухається по коловій орбіті у верхніх шарах атмосфери, зазнає опір розрідженого повітря силою $F = 700$ мкН. Визначте, як зміниться швидкість супутника за один оберт навколо Землі. Висота польоту супутника над поверхнею Землі мала у порівнянні з радіусом Землі ($R = 6400$ км).

3. Через які проміжки часу доцільно запускати із Землі до планет космічні станції?

Варіант 2

1. Навіщо потрібні супутники-балони?

2. Ви мандруєте поясом астероїдів, характерна густина порід яких складає $\rho = 3,5$ г/см³. Яким розмірами повинні володіти астероїди, щоб по них можна було бігати і не боятись „полетіти” в космос?

3. Визначити швидкість запуску і періоди обертання штучних супутників Землі, які рухаються навколо неї по круговим орбітам на відстані половини і двох її радіусів від поверхні.

Підсумкова контрольна робота №2. „Фізика Сонячної системи”

Варіант 1

1. Через який проміжок часу повторюється протистояння Марса, сидеричний період якого 1,9 року?

а) 1,9 р.; б) 2,1 р.; в) 0,7 р.; г) 2,3 р.

2. Відношення кубів великі півосей планет дорівнює 64. Чому дорівнює відношення їхніх періодів обертання навколо Сонця?

а) 8; б) 4; в) 16; г) 2.

3. Як змінюються періоди обертання планет з віддаленням їх від Сонця?

а) не змінюються; б) зменшуються; в) збільшуються.

4. Горизонтальний паралакс Місяця 57'. Обчисліть відстань від Землі до Місяця, якщо екваторіальний радіус Землі 6378 км.

а) 384700 км; б) 402200 км; в) 388600 км; г) 405100 км.

5. У якому напрямі рухаються планети навколо Сонця по своїх орбітах?

а) Всі планети рухаються в одному напрямі, як Земля (прямому);

б) всі планети рухаються в прямому напрямі, окрім Венери і Урану;

в) всі планети рухаються у зворотному напрямі, окрім Землі;

г) деякі планети рухаються в прямому напрямі, деякі – у зворотному.

6. Перша невидима незброєним оком на небі планета Нептун була відкрита у:

а) 1609 р.; б) 1600 р.; в) 1846 р.; г) 1543 р.

7. Коли Земля унаслідок свого річного руху по орбіті найближче до Сонця?

а) влітку; б) у перигелії; в) взимку; г) в афелії.

8. Застосувавши правило Тиціуса – Бодє, визначте відстань від Урану до Сонця ($n=6$).

9. Обчисліть відношення мас Сонця і Землі за такими даними: Місяць здійснює 13 обертів впродовж року; середня відстань від Сонця до Землі в 390 разів більше відстані від Місяця до Землі.

Варіант 2

1. Які планети можуть знаходитися в протистоянні?

а) нижні; б) верхні; в) лише Марс; г) лише Венера.

2. Зміна пір року на планеті відбувається тому що:

а) планети рухаються навколо Сонця;

б) планети обертаються навколо своєї осі;

в) вісь обертання планети нахилена до площини орбіти;

- г) вісь обертання планети лежить в площині орбіти.
3. Горизонтальний паралакс збільшився. Як змінилася відстань до планети?
- а) збільшилась; б) зменшилась; в) не змінилась.
4. Знаючи ексцентриситет Місяця 0,05 і велику піввісь 384400 км., обчисліть найменшу відстань до Місяця:
- а) 365180 км; б) 378000 км; в) 355280 км; г) 403620 км.
5. Першою космічною швидкістю є:
- а) швидкість руху по колу тіла на даній відстані від центру;
- б) швидкість руху тіла по параболі щодо фокусу параболі;
- в) кругова швидкість тіла поблизу поверхні Землі;
- г) параболічна швидкість тіла поблизу поверхні Землі.
6. Чим можна пояснити відсутність у Місяця магнітного поля?
- а) малою силою притягання;
- б) повільним осьовим обертанням;
- в) великими перепадами температур;
- г) поганою електропровідністю мантії.
7. До малих тіл Сонячної системи відносяться:
- а) зорі; б) комети; в) астероїди; г) планети.
8. Застосувавши правило Тиціуса – Боде, визначите відстань від Сатурну до Сонця ($n=5$).
9. Супутник робить 16 обертів за час одного оберту Землі. Визначте період і швидкість супутника, вважаючи його орбіту круговою.

Для допитливих

Розв'яжіть кросворд

Варіант 1. Кросворд №3 (рис.13)

По горизонталі:

3. Мала планета Сонячної системи.
6. Метеор, який дістався поверхні Землі.
7. Відносно пухкий поверхневий шар Місяця (та інших безатмосферних тіл Сонячної системи), перероблений бомбардуванням поверхні метеоритами та корпускулярним випромінюванням Сонця.

8. Друга від Сонця планета.

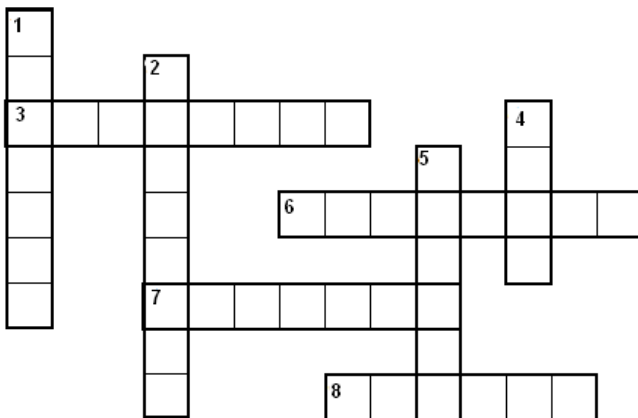


Рис. 13. Кросворд №3

По вертикалі:

1. У перекладі з грецької означає „блукаю”.
2. Планета, яка рухається найближчою орбітою до Сонця.
4. Четверта планета від Сонця.
5. Найвіддаленіша планета від Сонця.

Варіант 2. Кросворд №4 (рис.14)

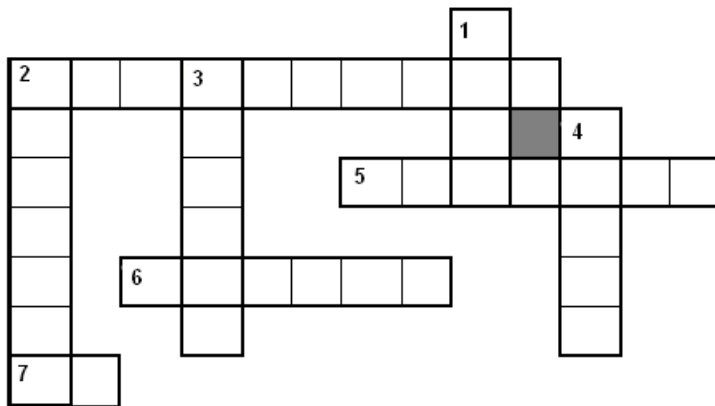


Рис. 14. Кросворд №4

По горизонталі:

2. Межа між освітленою та неосвітленою Сонцем частинами видимого диска Місяця або планети (має форму півеліпса).

5. Космічне тіло, що містить речовину в конденсованому стані та еволюціонує внаслідок гравітаційної диференціації речовини.

6. Супутник Землі.

7. Супутник Юпітера.

По вертикалі:

1. Зовнішня оболонка твердотільної планети, що утворюється виділенням із мантиї найбільш легких та легкоплавних порід.

2. Групи астероїдів, що рухаються по орбіті Юпітера поблизу трикутних точок лібрації (точок відносної рівноваги) Юпітера та Сонця; їх названо іменами героїв Гомерової „Іліади”.

3. Основна оболонка планети (тверда у планет земної групи та рідка у планет-гігантів), виділенням з якої більш легких порід утворюється кора, а більш важких - ядро планети.

4. Один із найбільших астероїдів.

Олімпіадні задачі

7_о. Глобус Землі має діаметр 30 см. На якій висоті над поверхнею глобуса необхідно помістити модель МКС (Міжнародної Космічної Станції), якщо справжня МКС літає на висоті 400 км. над поверхнею Землі? Якого розміру буде модель станції, якщо довжина МКС складає 60 м? Радіус Землі 6400 км.

Відповідь. Відстань від моделі до глобуса і розмір моделі будуть у стільки ж раз менше реальної відстані від МКС до Землі і реального розміру МКС, у скільки розмір глобуса менше реального розміру Землі. Радіус глобуса дорівнює 15 см (половина діаметру) і, отже, він менше радіусу Землі (переведеного в сантиметри) у $6400 \cdot 100000 / 15 \approx 43000000$ разів. Очевидно, що розмір моделі і відстань її від глобуса зручніше вважати в міліметрах. Таким чином, модель матиме розмір приблизно $60 \cdot 1000 / 43000000 \approx 0,0014$ мм і її необхідно помісти-

ти над поверхнею глобуса на висоті $400 \cdot 1000000 / 43000000 \approx 9$ мм.

8. Два невеликих однакових кулястих астероїда утворюють подвійну систему, практично стикаючись поверхнями. У скільки разів зміниться сила тяжіння між астероїдами з тієї ж речовини в аналогічній системі, якщо масу кожного з астероїдів збільшити у вісім разів?

Відповідь.

Сила притягання між астероїдами дорівнює

$$F = \frac{GM_1M_2}{r^2}.$$
 Так як маси і радіуси астероїдів рівні

($M_1=M_2=M$ і $R_1=R_2=R$) і астероїди дотикаються

поверхнями ($r=R_1+R_2=2R$), то $F = \frac{GM^2}{4R^2}$. За незмінної

густини (астероїд з тої ж речовини) маса астероїда пропорційна його об'єму і, отже, кубу радіуса ($M=4/3\pi\rho R^3$, де ρ – густина астероїда). Тому $R \propto M^{1/3}$.

Таким чином, $F \propto \frac{M^2}{R^2} \propto \frac{M^2}{M^{2/3}} = M^{4/3}$, тобто сила

притягання між «новими» астероїдами збільшилася у $8^{4/3}=16$ разів.

9. Штучний супутник Землі рухається зі швидкістю 6,9 км/с по коловій орбіті в площині екватора в напрямку обертання Землі. З яким періодом часу від буде проходити через зеніт пункту, який розташований на екваторі?

Відповідь. Сила гравітаційного притягання Землі надає супутнику доцентрове прискорення. Відповідно до II закону Ньютона:

$$G \frac{mM}{R^2} = m \frac{v^2}{R}.$$

Швидкість руху супутника по коловій орбіті

$$v = \sqrt{\frac{GM}{R}}..$$

Згадавши, що $g = \frac{GM}{R^2}$, знаходимо орбітальний період

$$(P): P = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi GM}{v^3} = \frac{2\pi g R^2}{v^3} \approx 127 \text{ хв.}$$

Тепер використаємо рівняння синодичного руху, врахувавши, що супутник обертається в напрямку руху Землі і має період обертання $P_0=24^h$: $1/T=1/P-1/P_0$.

$$\text{Звідси } T = \frac{PP_0}{P_0 - P} \approx 139 \text{ хв.}$$

10о. Яким був би період добового обертання Меркурія, якщо б його орбіта була круговою?

Відповідь: Він би дорівнював періоду обертання Меркурія навколо Сонця: припливний вплив Сонця на Меркурій дуже великий і воно давно вже загальмувало його добове обертання. Якби орбіта Меркурія була круговою, він рухався б так як Місяць навколо Землі, увесь час повертаючи до Сонця одну зі своїх півкуль. Однак орбіта Меркурія еліптична: у перигелії, де припливний вплив Сонця найбільш відчутний, Меркурій обертається з високою кутовою швидкістю. Але середня кутова швидкість обертання Меркурія у 1,5 рази менше, тому за свій рік він встигає зробити 1,5 добових оберт.

11о. Спостерігаючи комету поблизу Сонця, астрономи визначили, що її орбіта - гіпербола. Чи повинна ця комета назавжди покинути Сонячну систему?

Відповідь: Якщо ексцентриситет гіперболи трохи більше одиниці, а так зазвичай і буває у «гіперболічних» комет, то з часом траєкторія комети може стати замкнутою – еліптичною. Не варто забувати, що в Сонячній системі не вся маса

зосереджена у центральному тілі. Поблизу Сонця комета практично відчуває лише його притягання (вплив планет у значній мірі компенсує одна одну), а за межами орбіти найвіддаленішої планети Сонячної системи комета сприймає усю Сонячну систему як єдине тіло із сумарною масою. Тому на значній відстані від Сонця її орбіта може стати сильно витягнутим еліпсом. Якщо ж комета наблизиться до однієї із планет, то її орбіта взагалі може змінитися непередбачено.

12о. Згадайте „Маленького принца” А. де Сент-Екзюпері. Коли Принц відвідував різні дивовижні планети, він побував і на планеті, яка „здійснює повний оберт за одну хвилину”. Оцініть густину цієї планети. Якому класу небесних об’єктів вона може належати?

Відповідь:

Якщо небесне тіло обертається так, що на екваторі його швидкість перевищує першу космічну, то тіло зруйнується.

Нехай ці швидкості рівні. Тоді $T = \frac{2\pi R}{v_1} = 2\pi \sqrt{\frac{R^3}{GM}}$, якщо

густина планети $\rho = 3M/4\pi R^3$, отже $T = \sqrt{\frac{3\pi}{G\rho}}$. Отже

$T = \frac{3,5 \text{ год}}{\sqrt{\rho}}$, де T - період обертання планети, ρ – її густина у

г/см³. Для $T=1$ хв отримаємо $\rho=4,4 \cdot 10^4$ г/см³. Це мінімальна густина, яку повинна мати дана планета, щоб не зруйнуватися і не скинути із себе самого жителя з його ліхтарем. Дуже щільна планета. Ймовірно білий карлик ($\rho \approx 10^6$ г/см³).

13о. Американські астронавти, що працювали на орбітальній станції Скайлеб (1973 рік), займались бігом по внутрішній поверхні станції, яка представляла собою циліндр, діаметром приблизно 6 м. З якою швидкістю необхідно бігти в таких

умовах, щоб відчувати земну силу тяжіння? Як при цьому повинна бути орієнтована станція?

Відповідь:

Із формули для доцентрового прискорення ($a = \frac{v^2}{r}$) знайдемо

значення $v = \sqrt{ar}$. Тоді для $a=g$ отримаємо

$v = \sqrt{gr} = 5,4 \left(\frac{m}{c} \right)$. Це нормальна швидкість бігу для

тренованої людини. Орієнтація станції у даному випадку ніякого значення немає.

14о. Чому кількість числа кратерів на поверхні галілеєвих супутників Юпітера монотонно зростає від Іо до Калісто?

Відповідь: Чим ближче супутник до Юпітера, тим вище його тектонічна активність, причиною якої є припливний вплив і магнітне поле планети-гіганта. Тому у внутрішніх супутників поверхня активно перетворюється і старі кратери на ній зникають.

15о. Чому деякий час після приземлення космонавти сплять без подушок?

У невагомості кровообіг голови збільшується і організм космонавта звикає до цього, умикаючи певні компенсуючі механізми. Після повернення на Землю вони ще деякий час продовжують діяти, і космонавту приходиться спати „униз головою”, щоб забезпечити прилив крові „як у невагомості”.

Практична робота №1:

Конфігурації планет. Синодичний і сидеричний періоди

Мета: змодельовати конфігурації планет і поспостерігати закономірності умов їх спостережень при різних конфігураціях. Вивести формулу зв'язку синодичного і сидеричного періодів.

Обладнання: Моделі планет і Сонця.

Необхідні знання: Види планет. Конфігурації планет. Схематичне зображення. Умови видимості при різних конфігураціях. Сидеричний і синодичний періоди.

Формули: Зв'язок синодичного і сидеричного періодів.

Хід роботи:

1. Використовуючи моделі, змодельовати різні конфігурації. Замалювати проекцію на площину орбіт (вважаючи за її загальну для всіх планет) і вид планети при спостереженні із Землі.

Конфігурації внутрішніх планет:

з'єднання		протистояння	елонгація
верхнє	нижнє		

Конфігурації зовнішніх планет:

з'єднання	протистояння	квадратура	
		західна	східна

2. Вказати зв'язок синодичного і сидеричного періодів. Зробити необхідні рисунки, пояснити виведення формули.

Висновок.

Контрольні запитання

Дайте означення нижньої планети. Які планети відносяться до цієї групи? Їхні імена та позначення.

Дайте означення верхньої планети. Які планети відносяться до цієї групи? Їхні імена та позначення.

Що називається конфігурацією планет?

Дати означення періодів обертання планети навколо Сонця, їхні позначення та одиниці вимірювання.

Записати та пояснити загальне рівняння синодичного руху.

Астрономічна вікторина

1. Там нема води й повітря,
Тож ні вітру там, ні бурі,
А до Сонця він найближче.
Звуть планету цю - ... (Меркурій)!
2. Названа на честь богині краси,
Планета з блискавками та із атмосферою,
Але ніхто на цій планеті не живе.
А зветься ця краса ... (Венерою)!
3. Як бог богів величніший з усіх.
Супутників у нього ціла свита.
Планету знають цю усі
З поважним іменем ... (Юпітер)!
4. Його кільця відомі навіть дітям,
З Юпітером – сусідом дуже схожий.
Планета – велетень з низькою густиною,
Її ... (Сатурном) ми назвати можемо!
5. У чотири рази більший від Землі,
На боці лежачи він крутиться, мов пан.
Супутників 15 має ще крім того,
А зветься чудо це ... (Уран)!
6. Кольорову має атмосферу.
Несподівано відкритий цей пустун.
А названий на честь бога океану.
Ви впізнали? Це ж ... (Нептун)!
7. Там є життя. Там майже скрізь буяють трави.
Там спів пташок село будить зрання.
Планета – казка. Мрія. Подарунок.
І ймення гордо їй звучить ... (Земля)!
8. На якій планеті Сонячної системи спостерігається найбільший циклон? (Червона пляма на Юпітері – найбільший циклон Сонячної системи)
9. На якій планеті Сонячної системи дмуть найшвидші вітри? (Швидкість вітру на планеті Нептун, виміряна в 1989 році космічним апаратом НАСА «Вояджер-2», досягала 2400 км/год)

10. Назвіть найспекотніше місце Сонячної системи. (Це центр Сонця. Останні дослідження кажуть, що температура там становить 15,6 мільярдів градусів за Цельсієм)

11. Який супутник у Сонячній системі найближче розташований до своєї планети? (Супутник Фобос («страх») віддалений від центра Марса 9378 кілометрів і на 5981 кілометр від його поверхні. Він в шістдесят разів ближче до Марса, ніж Місяць до Землі)

12. На якій планеті Сонячної системи знаходиться найбільший каньйон? (Долина Марінера на Марсі – це каньйон довжиною 4500 кілометрів, завширшки 600 кілометрів і глибиною сім кілометрів)

13. Яка планета Сонячної системи має супутник з найбільш щільною атмосферою? (Найбільший супутник Сатурна – Титан. Тиск на його поверхні становить 1,44 бар. Складається в основному з пари азоту, атмосфера Титана найбільш близька за складом до атмосфері Землі)

14. На який з планет Сонячної системи знаходиться найвища гора? (На Марсі. Це вулкан Олімп. Його висота – двадцять п'ять кілометрів, що майже втричі вище Евересту. Олімп має похилі схили, його ширина в двадцять разів перевищує висоту)

15. Яка планета, крім Венери, що обертається навколо Сонця в бік, протилежний обертанню всіх інших планет? (Уран)

16. Назвіть планету Сонячної системи з самим коротким днем. (Юпітер робить повний оборот навколо своєї осі за дев'ять годин 55 хвилин і 29,69 секунд)

17. Яка планета Сонячної системи названа ім'ям дідуся верховного бога римлян? (Уран)

18. На поверхні якогось небесного тіла зустрічаються такі назви: море Спокою, океан Бур, болото Сну, озеро Смерті? (Місяць)

19. Чим відрізняється метеор від метеорита? (Метеорит – це небесне тіло, що впало на поверхню Землі. Метеори згорають, не долітаючи до Землі, в щільних шарах атмосфери)

20. Як по-науковому називається зорепад? (Метеоритний дощ)

РОЗДІЛ III. МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ФІЗИЧНИХ І АСТРОНОМІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Основні фотометричні величини та їх вимірювання

Небесні світила ми бачимо тому, що вони є джерелами світла. Вони або самі випромінюють, або ж світять у відбитому світлі. Оскільки саме світло є основним джерелом інформації про далекі об'єкти Всесвіту, то знання законів випромінювання, поширення та поглинання світла для астрономії є важливим.

Основною величиною, що характеризує випромінювання, є його енергія. Розділ оптики, що вивчає методи та прийоми вимірювання дії видимого світла на око людини, називається фотометрією.

Фотометрія – це розділ фізики, в якому вивчаються величини, що характеризують електромагнітне випромінювання та техніку його вимірювання.

Розглянемо основні фотометричні поняття та закономірності.

Світловий потік Φ – це кількість енергії, що проходить через деяку поверхню за одиницю часу $\Phi=W/t$, де W – повна енергія випромінювання, t – час випромінювання. Одиницею світлового потоку в СІ є люмен (лм) (від латин. *Lumen* – світло). Світловий потік від зоряного неба, який падає на сітківку ока, – близько 0,000000001 лм, світловий потік від полуденного сонця – 8 лм.

Тілесний кут Ω – частина простору, обмежена конічною поверхнею. Величина тілесного кута вимірюється відношенням площі S , вирізаної цим кутом на поверхні сфери (рис. 15) (з центром O у вершині тілесного кута) до квадрату радіуса сфери R : $\Omega=S/R^2$. Одиницею вимірювання тілесного кута є *стерадіан* (ср) – кут, що вирізає одиничну площу на сфері одиничного радіуса. Очевидно, що тілесний кут, який охоплює увесь простір

$$\Omega_n = \frac{4\pi R^2}{R^2} = 4\pi.$$

навколо джерела світла, рівний 4 π стерадіан:

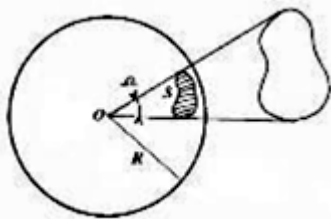


Рис. 15. Тілесний кут

Сила світла I – величина, яка чисельно рівна світловому потоку в одиниці тілесного кута: $I = \Phi / W$. В якості одиниці вимірювання сили світла прийнята кандела (кд) – сила світла, що випромінюється за певних умов еталонним джерелом світла спеціальної конструкції.

З формули для визначення сили світла випливає, що одиницею світлового потоку є світловий потік, створюваний точковим джерелом світла із силою світла, що дорівнює 1 кандела в тілесному куті 1 стерадіан. Ця одиниця називається люменом (лм).

Освітленість E – величина, яка дорівнює відношенню світлового потоку Φ , що падає на дану поверхню, до площі цієї поверхні: $E = \Phi / S$. За одиницю освітленості приймається люкс (лк).

Люкс – освітленість поверхні 1 м^2 світловим потоком в 1 лм, який падає перпендикулярно до поверхні.

Значення освітленості поверхні (поблизу землі):

- сонячним промінням опівдні (на середніх широтах) – 100000 лк;
- сонячним промінням на відкритому місці в похмурий день – 1000 лк;
- сонячним промінням у світлій кімнаті (поблизу вікна) – 100 лк;
- на вулиці при штучному освітленні – до 4 лк;
- від повного місяця – 0,2 лк;
- від зоряного неба в безмісячну ніч – 0,0003 лк.

Закон освітленості: освітленість, що створюється точковим джерелом світла на деякій площині, прямо пропорційна силі світла I джерела і косинусу кута падіння променів α і обернено пропорційна квадрату відстані R до площини від джерела: $E = I \cos \alpha / R^2$.

Освітленість поверхні, що створюється кількома джерелами світла, дорівнює арифметичній сумі освітленостей, що створюються кожним джерелом окремо.

Прилади, які служать для визначення сили світла одного джерела на підставі порівняння з силою світла джерела-еталона, називаються *фотометри*. Фотометри, пристосовані для безпосереднього вимірювання освітленості, називаються *люксметри*.

Класифікуючи зорі за їхнім *блиском*, Гіппарх ввів поняття *видимої зоряної величини*. Найяскравіші зорі він виділив у групу зірок 1-ої величини, менш яскраві – у групу зірок 2-ої величини, а ледве помітні – 6-ої величини.

$$m = -14^m - 2,5 \lg E.$$

$$\text{Формула Погсона: } E_2/E_1 = 2,512^{m_1 - m_2}.$$

E – освітленість.

Абсолютна зоряна величина – це зоряна величина, яку мала б зоря, знаходячись від нас на відстані 10 пк (32,6 св.р.)

$$M = m + 5 - 5 \lg r, \text{ де } r - \text{відстань до зорі, виміряна в парсеках.}$$

Світність зорі – визначає потужність випромінювання зорі. За одиницю світності береться потужність Сонця $4 \cdot 10^{26} \text{ Вт}$.

$$L = L_{\odot} \cdot 10^{0,4(M_{\odot} - M)}.$$

$$L_{\odot} = 1_{\odot}, M_{\odot} = +4,7^m \text{ — параметри Сонця.}$$

Освітленість E світила характеризується його видимою зоряною величиною m . Одне і те саме світило може мати різну видиму зоряну величину в залежності від способу її визначення: візуальну зоряну величину m_v , фотографічну зоряну величину m_{pg} , фотовізуальну зоряну величину m_{pv} , фотоелектричні зоряні величини V (жовту), B (синю) і U (ультрафіолетову), болометричну m_b та інші.

Відношення E_1 і E_2 двох світил зв'язано з їхніми видимими зоряними величинами m_1 і m_2 формулою Погсона:

$$\lg \frac{E_1}{E_2} = 0,4(m_2 - m_1).$$

Різниця $S = m_{pg} - m_v = m_{pg} - m_{pv}$ називається звичайним показником кольору, різниця $(B-V)$ – основним показником кольору, а різниця $(U-V)$ – ультрафіолетовим показником кольору.

Планети та їхні супутники світять відбитим сонячним світлом і тому за повної фази їх освітленість

$$E = kA \frac{d^2}{r^2 \rho^2},$$

де k – коефіцієнт, який враховує освітленість Сонцем і систему одиниць вимірювання, A – сферичне альbedo (сферичне альbedo показує, яку падаючого світла відбиває тіло ($A < 1$), d – лінійний діаметр, r – геліоцентрична відстань і ρ – відстань від спостерігача; зазначені відстані виражаються або у кілометрах, або в астрономічних одиницях ($1 \text{ а.о.} = 149,6 \cdot 10^6 \text{ км}$).

Відстань до зірок вимірюється парсеками (пс), світловими роками (св.р.): $1 \text{ пс} = 206265 \text{ а.о.} = 3,26 \text{ св.р.}$

Відстань r зорі, виражена у парсеках, і її річний паралакс π , що вимірюється у секундах дуги ("), зв'язані відношенням: $r = 1/\pi$.

Так як блиск E кожної зорі прямо пропорційний її світності L і обернено пропорційний квадрату відстані r від спостерігача, то відношення світності двох зірок

$$\frac{L_1}{L_2} = \frac{E_1}{E_2} \cdot \frac{r_1^2}{r_2^2} = \frac{E_1}{E_2} \cdot \frac{\pi_2^2}{\pi_1^2}.$$

Задача №24. Візуальна освітленість зорі α Ліри дорівнює $+0,14^m$; її паралакс $0'',123$, а у зорі β Водолія візуальна освітленість $+3,07^m$ і паралакс $0'',003$. Знайти відношення освітленості і світності цих двох зірок.

За формулою $\lg \frac{E_1}{E_2} = 0,4(m_2 - m_1),$

$$\lg \frac{E_1}{E_2} = 0,4(3,07^m - 0,14^m) = 1,172 \quad \text{і} \quad \frac{E_1}{E_2} = 14,86 \approx 15.$$

Відповідно до $\frac{L_1}{L_2} = \frac{E_1}{E_2} \cdot \frac{r_1^2}{r_2^2} = \frac{E_1}{E_2} \cdot \frac{\pi_2^2}{\pi_1^2},$

$$\frac{L_1}{L_2} = \frac{E_1}{E_2} \cdot \left(\frac{\pi^2}{\pi^1} \right)^2 = 14,86 \left(\frac{0'',003}{0'',123} \right)^2 = \frac{14,86}{1681}, \quad \text{або}$$

$$\frac{L_1}{L_2} = 113,1 \approx 113.$$

Отже, α Ліри здається нам яскравіше зорі β Водолія у 15 разів, а в дійсності зоря β Водолія яскравіше α Ліри у 113 разів.

Задача №25. Нова зоря у момент спалаху мала видимої зоряної величини $3,2^m$. Обчисліть відстань до неї, якщо відомо, що більшість нових зір цього типу мають абсолютну зоряну величину -8^m .

Дано:

$$m=3,2^m$$

$$M=-8^m$$

г-?

Розв'язування

$$M = m + 5 - 5 \lg r$$

$$r = 10^{0,2(m-M)+1}$$

$$r = 10^{0,2(3,2+8)+1} \text{ пк} = 10^{3,24} \text{ пк} \approx 1700 \text{ пк}.$$

Відповідь: 1700 пк.

Задача №26. Знайти світність другої за видимим блиском зорі в сузір'ї Оріона Ригеля, відстань до якої $r=333 \text{ пк}$, а видима зоряна величина $m=0,13$.

Розв'язування.

$\lg L = 2 - 0,4(m + 5 - 5 \lg r) = 2 - 0,4(0,13 + 5 - 5 \lg 333) = 2 + 2,99 = 4,99$;
 $L = 97723 L_0$, тобто Ригель випромінює за секунду майже у 100000 разів більше енергії, чим наше скромне Сонце.

3.1. Що називають силою світла?

3.2. У яких одиницях вимірюють силу світла?

3.3. Що називають освітленістю? В яких одиницях її вимірюють?

3.4. Знайдіть повний світловий потік, що випромінює лампа, сила світла якої 60 кд.

3.5. Якою має бути сила світла ліхтаря, щоб освітленість тротуару під ним дорівнювала 20 лк? Ліхтар висить на висоті 5 м.

3.6. Ліхтар з силою світла 900 кд висить на висоті 4 м. Яка освітленість тротуару під ліхтарем?

3.7. Лампа висить просто над столом на висоті 2 м. Якою має бути сила світла лампи, щоб освітленість поверхні стола дорівнювала 100 лк?

3.8. Меркурій розташований до Сонця майже в три рази ближче, ніж Земля. Де більша освітленість на Землі чи на Меркурії? У скільки разів?

3.9. Освітленість Плутона приблизно в 1600 разів менша, ніж освітленість Землі. Приблизно в скільки разів далі розташований Плутон від Сонця, ніж Земля?

3.10. Для приготування уроків освітленість столу має бути не менше 50 лк. На якій висоті повинна знаходитися над столом лампа силою світла 100 кд?

3.11. Якої сили світла лампу потрібно підвісити на висоті 10 м, щоб освітленість дороги під нею дорівнювала 5 лк?

3.12. На відстані 1 м один від одного розташовано два джерела силою світла 16 кд і 64 кд. Де між ними необхідно розташувати екран, щоб його освітленість з обох боків була однаковою?

3.13. Планета Марс в 1,5 рази далі від Сонця, ніж Земля. У скільки разів освітленість поверхні Марса менше освітленості поверхні Землі?

3.14. Освітленість Землі, що створюється Сонцем, в $4 \cdot 10^{10}$ разів більше освітленості, створюваної зорею α -Центавра. На якій відстані від Землі знаходиться ця зоря, якщо Сонце віддалене від Землі на $1,5 \cdot 10^{11}$ м? Сили світла зорі α -Центавра і Сонця вважати однаковими.

3.15. Чому освітленість горизонтальних поверхонь опівдні більша, ніж вранці або увечері?

3.16. Нерідко можна спостерігати, як під дією сонячних променів сніг на дахах тоне, а на ґрунті ні. Чому?

3.17. Лампа, сила світла якої $I=25$ кд, закріплена на стелі ліфта. Визначте світловий потік, що падає на підлогу й стіни ліфта.

3.18. Дві однакові електричні лампочки знаходяться на відстані 6 м від землі і на відстані 8 м одна від одної. Де більша освітленість: на землі під кожною лампою або посередині між цими точками?

3.19. Освітленість підлоги спортивної зали має бути не меншою, ніж 200 лк. Якою має бути сила світла лампи, щоб вона забезпечила таку освітленість хоча б у найближчій точці підлоги? Лампа розташована на висоті 4 м.

3.20. Розрахуйте освітленість столу, за яким ви вдома готуєте уроки. Що слід зробити, якщо освітленість нижча за норму?

3.21. На якій висоті над центром круглого столу радіусом 1 м повинна висіти лампа, щоб на краях столу освітленість була найбільшою?

3.22. Чому лампа денного світла, на відміну від лампи розжарювання, не «ріже» око?

3.23. Чому вдень вікна будинків здаються темними навіть на тлі темних зовнішніх стін?

3.24. Чому крізь цигарковий папір можна прочитати текст, тільки щільно притиснувши папір до сторінки книги?

3.25. На лінзу фотооб'єктива сіла муха. Як це вплине на якості знімка?

3.26. Що відбудеться із зображенням, якщо верхню половину лінзи пофарбувати чорною фарбою?

3.27. Чому ланцюжок ліхтарів в ясну ніч здається однаково

яскравим уздовж всієї довжини?

3.28. Чому на горизонті зорі здаються менш яскравими?

3.29. Відразу після заходу Сонця, коли на горизонті вузьким серпом піднімається молодий місяць, можна побачити і «темну» частину місячного диска. Чому?

3.30. Найменший світловий потік, що сприймається оком, дорівнює 10-13 лм. Визначте найбільшу відстань, на якій око може зареєструвати світлове випромінювання точкового джерела силою світла 25 кд, якщо площа зіниці $0,4 \text{ см}^2$.

3.31. Зоря якої зоряної величини – 11^m чи 16^m – яскравіше і у скільки разів?

а) 11^m , у 100 разів; б) 16^m , у 100 разів;

в) 11^m , у 2,512 р.; г) 16^m , у 2,512 р.

3.32. У скільки разів зоря, яка має видиму зоряну величину -3, яскравіша зорі другої зоряної величини?

а) 100000; б) 10000; в) 1000.; г) 100.

3.33. Дві зорі мають зоряні величини $2,0^m$ і $2,1^m$. Яка з них яскравіше і на скільки відсотків?

3.34. Найяскравіша зоря нічного неба Сиріус має видиму зоряну величину $-1,5^m$. У скільки разів Сиріус слабше Марса під час великого протистояння (близьк $-2,9^m$)?

3.35. Поясніть якісно, як змінюється блиск зорі в зоряних величинах при збільшенні її відстані до спостерігача.

3.36. У скільки разів блиск зорі зоряної величини 3^m більший за блиск зорі зоряної величини 5^m ?

3.37. Абсолютна зоряна величина зорі становить 10^m . Її видимий блиск на 4^m слабший за блиск зорі Сиріус. Яка відстань до цієї зорі?

3.38. У скільки разів блиск зорі зоряної величини 3^m менший за блиск зорі зоряної величини -1^m ?

3.39. Яка абсолютна зоряна величина зорі видимої зоряної величини 3^m , що знаходиться на відстані 10 пк?

3.40. Визначте відношення освітленостей, створюваних на Землі Місяцем під час повного місяця і під час першої чверті, якщо у першому випадку блиск Місяця дорівнює $-12,7^m$, а у другому $-9,2^m$.

3.41. У скільки разів повний Місяць світить слабше Сонця, якщо його візуальний блиск дорівнює $-12,7^m$, а видима візуальна зоряна величина Сонця $-26,8^m$?

3.42. Яке світило – Сонце або S Золотої риби (абсолютна зоряна величина $M = -9,4$) – має більшу світність і у скільки.

Самостійна робота №6

Варіант 1

1. Назвіть одиниці освітленості:

а) кд; б) лм; в) лк.

2. На кругле матове скло діаметром 0,4 м падає світловий потік 120 лм. Визначте освітленість світла.

3. Спочатку книжку читали на відстані 1 м від світильника, а потім – на відстані 3 м. Як змінилась освітленість книжки, якщо інших джерел немає, а книжка розміщена весь час перпендикулярно до напрямку поширення світла?

4. Визначте силу світла ліхтаря для освітлення вулиці, якщо він висить на стовпі висотою 3 м від поверхні землі. Освітленість поверхні землі на відстані 4 м від основи стовпа становить 12 лк.

5. Яке світило – Сонце чи Капелла – мають більшу світність, якщо їхні абсолютні зоряні величини відповідно рівні $4,84^m$ і $-0,54^m$? У скільки разів відрізняються їхні світності?

Варіант 2

1. Виберіть позначення сили світла:

а) E; б) I; в) Ф.

2. Визначте силу світла точкового джерела, розміщеного в центрі сфери радіусом 0,85 м, який випускає на поверхню сфери площею $1,5 \text{ м}^2$ світловий потік 360 лм.

3. Відстань від Сонця до Землі 150 млн. км, а до Юпітера – 780 млн. км. У скільки разів відрізняються освітленості горизонтальних поверхонь планет, коли Сонце перебуває в зеніті?

4. Ліхтар з силою світла 800 кд розташований на висоті 5 м, а ліхтар із силою світла 500 кд – на висоті 4 м. Під яким із цих ліхтарів освітленість дороги є більшою? На скільки відсотків?

5. Подвійна система складається із двох зірок 4^m і 5^m . Чому дорівнює сумарна зоряна величина системи?

Спектроскоп. Спектральний аналіз та його застосування

Види спектрів

Спектри випромінювання тіл рідко бувають схожі на спектр випромінювання абсолютно чорного тіла (АЧТ). Вони можуть відрізнятися формою або не бути неперервними. Зараз існує ціла наука, яка займається вивченням електромагнітного випромінювання тіл шляхом розкладання його за довжинами хвиль, називається вона спектроскопією. Аналіз спектрів – основний метод вивчення астрономічних об'єктів, який використовується в астрофізиці. А почалося все з відкриття 23 річного викладача коледжу святої Трійці в Кембриджі Ісаака Ньютона. Він виявив залежність показника заломлення від довжини хвилі світла, і назвав це явище – дисперсією світла.

Спостережувані спектри діляться на три класи:

- лінійчатий спектр випромінювання. Нагрітий розріджений газ випускає електромагнітне випромінювання певних довжин хвиль. Ми при цьому спостерігаємо яскраві емісійні лінії;

- неперервний спектр. Такий спектр дають тверді тіла, рідини або щільний непрозорий газ в нагрітому стані. Довжина хвилі, на яку доводиться максимум випромінювання залежить від температури;

- лінійчатий спектр поглинання. На тлі безперервного спектру помітні темні лінії поглинання. Ці лінії поглинання утворюються, коли випромінювання від більш гарячого тіла, з неперервним спектром, проходить через холодне розріджене середовище, яке поглинає хвилі певної довжини.

У спектрах більшості астрономічних об'єктів спостерігаються лінії водню, що виникають під час переходу збудженого атома у стабільний стан. А збуджуються атоми водню за рахунок поглинання зовнішнього випромінювання. Як правило, атом знаходиться у збудженому стані мікросекунди, після чого він мимоволі переходить в стан з меншою енергією, випромінюючи надлишок енергії у вигляді кванта електромагнітного поля. Оскільки енергетичні рівні в атомах дискретні і мають

цілком певне значення, то при переході енергія може поглинатися і випромінюватися лише певними порціями, властивими лише даному атому, тобто поглинаються і випромінюються кванти певної частоти або довжини хвилі. Це як би індивідуальний штрих код, по якому можна однозначно визначити хімічний елемент. Але фотон, поглинений атомом, що зустрівся на його шляху, випромінюватиме ним знову вже не у тому напрямі, в якому фотон рухався спочатку, а з рівною імовірністю на всі боки. В результаті спостерігач відмітить у спектрі недолік фотонів тих енергій, які по шляху проходження поглиналися і знову випромінювалися. Це проявиться у появі темних ліній (недолік квантів) на тих довжинах хвиль, які поглиналися, а потім випромінювалися знов атомами водню.

Вивчення спектрів дає інформацію про температуру, швидкість руху, тиск, хімічний склад, магнітні поля і інші найважливіші властивості астрономічних об'єктів.

Визначення хімічного складу

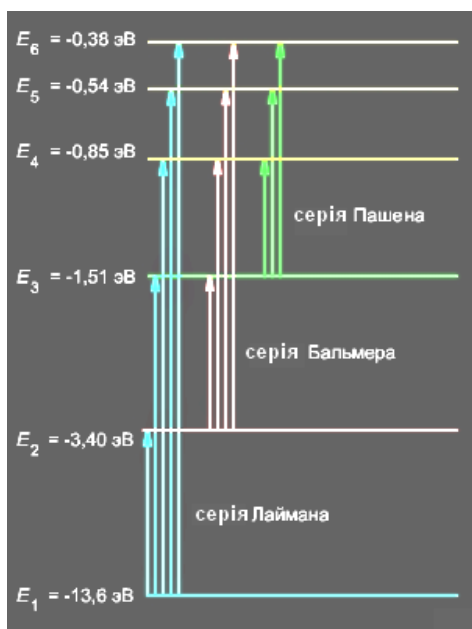


Рис. 16. Лінії Фраунгофера

Практично всі зорі мають лінії поглинання в своїх спектрах. У 1814 році німецький фізик Фраунгофер виявив в сонячному спектрі темні лінії поглинання випромінювання і вірно зміг пояснити їх появу, як недолік фотонів, які були поглинені, а потім випромінювались назад атомами водню. Енергії цих ліній відповідають різниці енергій електронів, що знаходяться на різних рівнях в атомах водню. З тих пір їх називають лініями Фраунгофера. Вони розбиті на декілька серій, залежно

від того, на який енергетичний рівень повертається електрон із збудженого стану.

Серія Лаймана, перехід, на найнижчий – перший рівень спостерігається в ультрафіолеті; у видимій області спектру спостерігаються лінії водню серії Бальмера. Це лінії червоного, блакитного, синього і фіолетового кольору. Це перехід збудженого електрона на другий енергетичний рівень. Лінії водню спостерігаються і в інфрачервоній частині спектру – серії Пашена, Бреккета – це переходи на вищі енергетичні рівні. Таким чином, виникнення лінійчатих спектрів пов'язане з постійною зміною внутрішньої енергії атомів водню, то що поглинають, то знов випромінюючих енергію у вигляді квантів електромагнітного поля.

Фотосфери зірок дають неперервний спектр, пересічений окремими темними лініями, які виникають при проходженні внутрішнього гарячого випромінювання через холодніші шари атмосфери зорі. Яскраві лінії в спектрі показують, що зоря оточена оболонкою, що розширюється, з гарячого газу. У червоних зірок з низькою температурою в спектрі видно широкі смуги молекул окису титана і інших оксидів. За спектром поглинання або випромінювання можна судити про хімічний склад як якісного, так і кількісного, атмосфери зорі, газової хмари і інших об'єктів. Для цього порівнюють лінії в спектрі зорі з лабораторними лініями хімічних елементів.

У 1868 році в спектрі Сонця були виявлені лінії невідомого елемента, названого гелієм (греч. *helios* «Сонце»). Через 27 років невелика кількість цього газу виявилася і в земній атмосфері. Сьогодні відомо, що гелій – другий за поширенням елемент у Всесвіті. Це був тріумф спектрального аналізу. Але в історії спектрального аналізу не обійшлося і без курйозів. Вивчаючи спектри газових туманностей, учені звернули увагу на лінії в зеленій частині спектру. Ці лінії ніколи раніше не зустрічалися в спектрах зірок, і логічно було припустити, що вони належать новому, ще не відомому елементу. Назвали його небулій. Через деякий час в спектрі сонячної корони, були виявлені лінії, які теж не вдалося ототожнити ні з одним відо-

ним хімічним елементом. Нововідкритому елементу дали ім'я короній. Нова перемога спектрального аналізу?

У 20-х роках ХХ століття право нових елементів на існування довелося поставити під сумнів. До цього часу менделєєвська таблиця була майже заповнена, і для небулій і коронія в ній просто не залишалося місця. Отже це не нові елементи, а вже відомі, але приховані під масками, тобто в незвичайних умовах міжзоряного газу і сонячної корони вони випромінювали зовсім не ті лінії, що в земних лабораторіях. І дійсно, врешті-решт, з'ясувалося, що – небулій це замаскований кисень, а короній – залізо, але багато разів іонізоване.

Ефект Доплера

У 1842 році австрійський фізик і астроном Хрестіан Доплер установив, що довжина хвилі λ , прийнята спостерігачем, зв'язана з довжиною хвилі джерела випромінювання співвідношенням:

$$\lambda = \lambda_0 \left(1 + \frac{v}{c} \right),$$

де v - проекція швидкості джерела на промінь зору. Відкритий ним закон отримав назву закону Доплера:

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{\Delta v}{v} = \frac{v}{c}.$$

Зміщення ліній в спектрі зірки щодо спектру порівняння в червону частину спектра вказують на те, що зірка віддаляється від нас, зміщення у фіолетову частину спектру – що зірка наближається до нас. Унаслідок обертання Землі навколо Сонця зі швидкістю $v = 30$ км/с, лінії в спектрах зірок, що віддаляються від Землі, зміщені в червону частину на $\Delta\lambda/\lambda = v/c = 10^{-4}$. Для лінії $\lambda = 500$ нм зміщення становить 0,05 нм (0,5 Å). Для зірок, що наближаються до Землі, лінії будуть зміщені на таку ж величину у фіолетову частину.

Якщо лінії в спектрі періодично змінюються, то зоря має супутник і вони обертаються навколо загального центру мас.

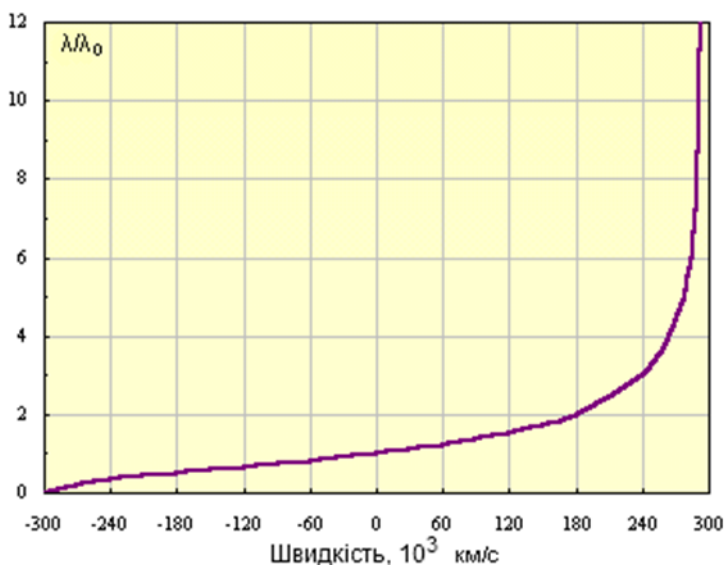


Рис. 17. Подовжній ефект Доплера. По осі абсцис відкладена швидкість джерела, по осі ординат – спостережувана довжина хвилі.

Ефект Доплера дає можливість оцінити швидкість обертання зірок (рис. 17). Наприклад, унаслідок обертання Сонця західний край Сонця віддаляється від нас, а східний край – наближається до нас. Тому найбільша лінійна швидкість обертання Сонця, яка спостерігається на екваторі, дорівнює 2 км/с, дає доплерівське зміщення лінії $\lambda = 500$ нм ($5000 \text{ \AA}$) у $\Delta\lambda = 0,035 \text{ \AA}$. При цьому на полюсах Сонця доплерівське зміщення ліній зменшується до нуля.

Навіть коли газ, що випромінюється не має відносного руху, спектральні лінії, що випромінюються окремими атомами, зміщуватимуться щодо лабораторного значення через хаотичний тепловий рух. Для загальної маси газу це виражатиметься в розширенні спектральних ліній. При цьому квадрат доплеровської ширини спектральної лінії пропорційний температурі: $T \sim (\Delta\lambda)^2$. Тому особливо сильно лінії розширюються в спектрах

гарячих зірок. Таким чином, за шириною спектральної лінії можна судити про температуру газу, який випромінюється.

Лінії можуть розширюватися не лише за рахунок ефекту Доплера. Не менш важливою причиною є зіткнення атомів.

У 1896 році нідерландським фізиком Зеєманом був відкритий **ефект розщеплювання ліній спектру в сильному магнітному полі**. За допомогою цього ефекту стало можливо «вимірювати» космічні магнітні поля.

Схожий ефект (він називається **ефектом Штарка**) спостерігається в електричному полі. Він виявляється, коли в зірці короткочасно виникає сильне електричне поле.

Близько розташовані спектральні лінії можуть зливатися. Лінія, що вийшла, називається **блендою**.

Задача №27. У спектрі галактики, яка має видиму зоряну величину $15,2^m$, лінія водню ($\lambda_0=656,3$ нм) зміщена до червоного краю спектра на $\Delta\lambda=21,9$ нм. Обчисліть швидкість віддалення галактики, відстань до неї, абсолютну зоряну величину і світність галактики.

Дано:	Розв'язування
$m=15,2^m$	
$\lambda_0=656,3$ нм	
$\Delta\lambda=21,9$ нм	
$v_r=?$	$v_r = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} c, v_r = \frac{21,9_{\text{нм}}}{656,3_{\text{нм}}} \cdot 3 \cdot 10^5 \frac{\text{км}}{\text{с}} = 10^4 \frac{\text{км}}{\text{с}};$
$r=?$	
$M=?$	$r = \frac{v_r}{H}, r = \frac{10^4 \frac{\text{км}}{\text{с}}}{75 \frac{\text{км}}{\text{с} \cdot \text{Мпк}}} = 133 \text{ Мпк};$
$L=?$	$M = m + 5 - 5 \lg r, M = 15,2 + 5 - 5 \lg (1,33 \cdot 10^8 \text{ пк}) = -20,4^m;$
	$L = 2,512^{4,8-m} \cdot L_{\odot};$
	$L = 2,512^{4,8+20,4} \cdot L_{\odot} = 1,2 \cdot 10^{10} \cdot L_{\odot}.$
	Відповідь: 10^4 км/с , 133 Мпк , $-20,4^m$, $1,2 \cdot 10^{10} \cdot L_{\odot}$.

Задача №28. При фотографуванні Сонця в його спектрі була виявлена жовта спектральна лінія натрію D_2 ($\lambda = 589$ нм) від правого і лівого країв Сонця. При цьому було виявлено, що вона зміщується на $\Delta\lambda = 0,008$ нм. Знайти лінійну швидкість обертання Сонця.

Розв'язування. Зміщення спектральних ліній пов'язане з обертальним рухом Сонця. Застосувавши формулу Доплера, знайдемо, що швидкість обертання Сонця $v = c \Delta\lambda / (2 \lambda) = 2$ км/с.

3.43. Чи можна визначити температуру випромінюючого газу за ефектом Доплера?

а) Ні, на підставі ефекту Доплера можна судити лише про відносні швидкості або турбулентності випромінюючого газу.

б) Ні, на підставі ефекту Доплера можна судити лише про склад газу.

в) Так, температура випромінюючого газу пропорційна доплерівській ширині спектральної лінії.

г) Так, температура випромінюючого газу пропорційна квадрату доплерівської ширини спектральної лінії.

3.44. Яке з перерахованих електромагнітних випромінювань має найбільшу довжину хвилі?

а) Інфрачервоне випромінювання;

б) видиме випромінювання;

в) ультрафіолетове випромінювання;

г) рентгенівське випромінювання.

3.45. Знайдіть невірне твердження про випромінювання абсолютно чорного тіла.

а) Із збільшенням температури максимум випромінювання зміщується в більш короткохвильову область спектру;

б) потужність випромінювання пропорційна четвертому ступеню температури;

в) у довгохвильовій частині спектру випромінювальна здатність пропорційна температурі;

г) абсолютно чорним тілом називається тіло, що не знаходиться в стані термодинамічної рівноваги з випромінюванням.

3.46. Термін «всехвильова астрономія» означає:

а) прозорість земної атмосфери для всіх хвиль електромагнітного випромінювання, що приходить з космосу;

б) вивчення випромінювання небесних об'єктів у всьому діапазоні електромагнітного спектру від радіохвиль до гамма-випромінювання;

в) вивчення невидимих діапазонів електромагнітного спектру у небесних світил;

г) вивчення випромінювання небесних об'єктів у всьому діапазоні видимого спектру електромагнітного випромінювання, від червоного до синього квітів.

3.47. Візуальна астрофотометрія вивчає небесні тіла по:

а) різним спектрам;

б) візуальному вимірюванню кількості світла і енергії, що приходять від зірок, по вимірюванню зоряних величин;

в) візуальному вивченню спектрограм;

г) візуальному вивченню фотографій.

3.48. Для яких цілей в астрономії використовується ефект Доплера?

а) Для визначення світимості зірок і галактик;

б) для визначення швидкості руху зірок і галактик;

в) для визначення паралакса найближчих зірок;

г) для всього вище перерахованого.

3.49. У спектрі голови комети жовта лінія дублету натрію D_1 і D_2 з довжинами хвиль $\lambda = 5896 \text{ \AA}$ і $\lambda = 5890 \text{ \AA}$ зміщена на $0,6 \text{ нм}$ до фіолетового кінця спектру. Наближається або віддаляється комета від Землі?

а) Наближається до Землі;

б) віддаляється від Землі;

в) віддаляється від Сонячної системи;

г) не вистачає даних для визначення.

3.50. Як по зоряному спектру легко показати, що зорями є розпечені оптично щільні тіла, оточені газовими атмосферами?

Самостійна робота №7

Варіант 1

1. Як можна дізнатися про існування ліній поглинання в невидимих частинах спектру?

2. Чому колір деяких матеріалів при денному і електричному освітленні виходить різним?

3. На скляну призму направляють промінь червоного або зеленого кольору. Чи спостерігатиметься розкладання цього світла на якісь кольорові промені?

4. У спектрі зорі лінія кальцію ($\lambda=4227 \text{ \AA}$) виявилася зміщеною до фіолетового кінця спектру на $0,7 \text{ \AA}$. Визначите, з якою швидкістю зоря рухається, наближається вона до нас або віддаляється?

Варіант 2

1. Поясніть, як отримуються фраунгоферові лінії в спектрі Сонця?

2. Якого кольору здаються червоні (сині) квіти через зелене скло?

3. Що таке спектроскоп? Що таке спектрограф?

4. Якщо зоря лежить у площині екліптики, і ми рухаємося із Землею по орбіті прямо до неї, а через півроку віддаляємося від неї, то на скільки зміниться за півроку спостережувана довжина лінії гелію $5876 \text{ \AA}$?

Випромінювання небесних світил. Методи астрономічних спостережень. Принцип дії і будова оптичного та радіотелескопа, детекторів нейтрино та гравітаційних хвиль.

Задача №29. Телескоп складається з об'єктиву з фокусною відстанню $F_1 = 80 \text{ см}$ і розсіювальної лінзи з фокусною відстанню $F_2 = 2 \text{ см}$, яка використовується як окуляр. Окуляр знаходиться на відстані $l = 60 \text{ см}$ від об'єктиву. На якій відстані від окуляра f_2 необхідно встановити екран для отримання зображення Сонця?

Розв'язування.

Об'єктив будуватиме зображення Сонця у фокальній площині, а зображення на екрані будуватиме об'єктив. Відстань від об'єктиву до окуляра менше фокусної відстані об'єктиву, тому у формулі тонкої лінзи для окуляра потрібно ставити знак «мінус».

$$-\frac{1}{d_2} + \frac{1}{f_2} = \frac{1}{F_2}, \quad d_2 = F_1 - l,$$

$$f_2 = \frac{d_2 F_2}{d_2 + F_2} = \frac{(F_1 - l) F_2}{F_1 - l + F_2} = 0,05 \text{ м.}$$

Відповідь: 0,05 м.

3.51. Назвіть дві основні задачі телескопа.

3.52. Що таке проникаюча сила телескопа?

3.53. Що таке роздільна здатність телескопа і чим вона обмежується?

3.54. Що таке кутове збільшення телескопа і чому воно дорівнює?

3.55. Назвіть основні схеми телескопів.

3.56. Що таке аберация, і які види аберації ви знаєте?

3.57. У телескоп на Місяці можна розрізнити об'єкти лінійного розміру 1 км. Об'єкти якого розміру, можна побачити за допомогою того самого телескопу на Марсі під час великого протистояння?

3.58. Яка теоретична роздільна і проникаюча сила шкільного телескопа, що має розмір об'єктиву приблизно 2 дюйма?

3.59. Який параметр об'єктиву телескопа є визначальний при спостереженнях зореподібних об'єктів?

3.60. Який параметр об'єктиву телескопа є найважливішим при спостереженнях протяжних космічних об'єктів?

3.61. Чому більшість телескопів як для наукових цілей, так і для навчальних – це телескопи-рефлектори, а не рефрактори?

3.62. У комплект постачання любительських телескопів зазвичай входять декілька окулярів з фокусними відстанями, що відрізняються у 10-20 разів. Навіщо це робиться?

3.63. Об'єктив телескопа має діаметр 20 см і фокусна відстань 1 м. Окуляр з якою максимальною фокусною відстанню має сенс використовуватися при спостереженнях із цим телескопом?

3.64. У скільки разів потрібно збільшити діаметр об'єктиву телескопа, щоб покращити роздільну здатність у 2 рази? Збільшити проникаючу здатність на 1^m ?

3.65. Чим конструктивно відрізняється астрономічне дзеркало від побутового?

**Приймачі випромінювання. Застосування
в телескопобудуванні досягнень техніки і технологій.
Сучасні наземні й космічні телескопи. Астрономічні
обсерваторії**

Задача №30. Чи збільшує телескоп видимі розміри зірок? Відповідь поясніть.

Розв'язування.

Ні. Унаслідок великої віддаленості зорі видно у телескоп як точки навіть при найбільшому можливому збільшенні.

Задача №31. Чому сучасні наземні астрономічні обсерваторії, як правило, розміщують високо в горах?

Розв'язування.

Астрономічна обсерваторія – це наукова установа, у якій виконують спостереження небесних світил за допомогою телескопів. Для якісних оптичних спостережень потрібні чиста (незабруднена) атмосфера і ясне (безхмарне небо). Такі умови на нашій планеті найчастіше бувають високо в горах. Окрім цього, випромінювання, яке надходить до нашої планети від небесних тіл може досягати телескопа, установленого на поверхні Землі, лише за умови, що воно пройде крізь її атмосферу. Установлено, що атмосфера Землі істотно поглинає значну частину випромінювання електромагнітного спектра. Проте що вище від поверхні, то поглинання певних електромагнітних хвиль менше. Саме тому сучасні астрономічні обсерваторії зазвичай розміщують у гірській місцевості.

3.66. Запишіть діапазони шкали електромагнітних випромінювань зі збільшенням довжини хвилі:

- а)** Інфрачервоний;
- б)** видимий;
- в)** радіо;
- г)** ультрафіолетовий;
- д)** гамма;
- е)** рентгенівський.

3.67. Для чого використовують телескопи при спостереженні зірок?

3.68. Для чого використовують телескопи при спостереженні Місяця і планет?

3.69. Чому при вивченні Місяця і планет не використовують телескопи, які збільшують більше ніж у 500-600 разів?

3.70. Чим відрізняються оптичні системи рефрактора, рефлектора і меніскового телескопа?

3.71. Яке призначення об'єктива і окуляра у телескопі?

3.72. Об'єктив нормального астрографа має діаметр 33 см, а масштаб негативів, що експонуються в його фокусі, виходить рівним $1' \text{ мм}^{-1}$. Знайти фокусну відстань і світлосилу астрографа, а також лінійні розміри на негативах (знятих у фокусі) взаємної відстані компонентів подвійної зорі β Лебеда, кутова відстань між компонентами яких дорівнює $35''$.

3.73. Зоря Ригель (β Оріона), що має схилення $-8^{\circ}15'$, проходить діаметр поля зору нерухомого телескопа за 1 хв. Знайти збільшення і діаметр поля зору телескопа при цьому збільшенні.

3.74. Кутова відстань між компонентами подвійної зорі дорівнює $2''$. Телескоп з яким діаметром об'єктиву і збільшенням потрібно використовувати, щоб побачити компоненти окремо?

3.75. Іноді за хороших атмосферних умов для спостереження яскравих тісних подвійних зірок використовується синій світлофільтр. Навіщо це робиться?

3.76. Об'єктив одного оптичного телескопа – круг, діаметр якого 50 см, а об'єктив іншого – квадрат зі стороною 50 см.

Інші параметри телескопів однакові. Як будуть відрізнятися між собою зображення однієї й тієї самої зорі в цих телескопах?

3.77. Як зміниться на фотографії вигляд повного Місяця, якщо закрити ліву половину об'єктива телескопа без зміни експозиції?

3.78. Під час спостережень на сучасних оптичних телескопах окуляра не використовують, а приймач встановлюють безпосередньо у фокальній площині. Поясніть чому.

3.79. Під час візуальних спостережень молодого Місяця закрили праву половину об'єктива телескопа. Що при цьому зміниться в зображенні Місяця, яке розглядає спостерігач?

3.80. Роздільна здатність людського ока в нічний час складає приблизно 2'. Якою вона буде при використанні телескопа з діаметром об'єктива 8 см і збільшенні у 200 разів?

Самостійна робота №8

Варіант 1

1. Бінокль, як і телескоп, має об'єктив і окуляр. Чому ж тоді в біноклях зображення пряме, а в телескопах – перевернуте?

2. Чим конструктивно відрізняється астрономічне дзеркало від побутового?

3. Чи може бути об'єктив телескопа рідким?

4. Чому в телескопах системи Ньютона вторинне дзеркало плоске, а в системі Касегрена воно має форму опуклого гіперболоїда?

Варіант 2

1. Астероїди – це зореподібні об'єкти. Як на фотографіях зображення астероїдів відрізняють від зображень зір?

2. Чому об'єктиви телескопів-рефлекторів для оптичної області не роблять безпосередньо з металу?

3. Чому головні дзеркала телескопів-рефлекторів мають форму параболоїда?

4. Опукле дзеркало, як відомо, дає уявне зображення. Яким чином в телескопах системи Касегрена за допомогою вторинного дзеркала, що має форму опуклого гіперболоїда, отримують дійсні зображення космічних об'єктів?

Підсумкова контрольна робота №3. „Методи та засоби фізичних і астрономічних досліджень”

Варіант 1

1. Чому болометричні поправки найбільші для гарячих і холодних зірок і найменші для зірок типу Сонця?
2. Які переваги і недоліки має широкосмугова фотометрія в порівнянні з вузькосмуговою?
3. Чому холодні зорі мають червонуватий колір, а гарячі зорі здаються білими?
4. Чому око людини не реагує на ультрафіолетове і інфрачервоне випромінювання космічних об'єктів?
5. У чому головна причина відмінності спектрів зірок?
6. Схема якого телескопа з ходом променів в нім зображена на рисунку 18?

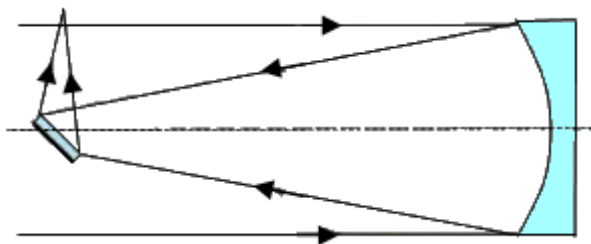


Рис. 18. До задачі 6, варіант 1

7. Діаметр об'єктиву рефрактора $D=20$ см, фокусна відстань $F=4,5$ м. Яка роздільна здатність телескопа? Яке збільшення вийде з 15-міліметровим окуляром?
8. Світло від зірок здійснює дифракцію на оправі об'єктиву телескопа. Яка це дифракція: Фраунгофера або Френеля?
9. Компоненти подвійної зоряної системи розділені на $2''$. Який телескоп потрібно використовувати для роздільного спостереження компонентів цієї подвійної системи? Роздільну межу людського ока вважайте рівною $2''$.

Варіант 2

1. Колір небесного світила може бути зафіксований двома принципово різними способами. Якими?
2. Чому візуально колір помітний лише у яскравих зірок?
3. Чому кольорові фотографії планет і їх супутників, отримані в космосі, мають більший колірний контраст, чим їхні зображення на знімках, зроблених з поверхні Землі?
4. Чому максимум чутливості людського ока потрапляє на 0,55 мкм?
5. Від чого залежить світність зорі?
6. Схема якого телескопа з ходом променів в нім зображена на рисунку 19?

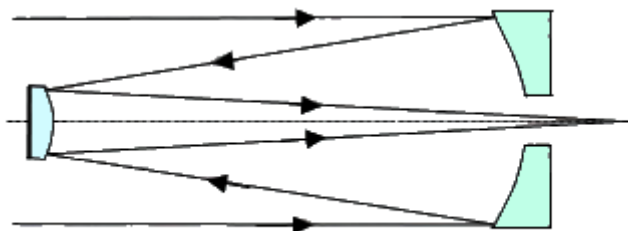


Рис. 19. До задачі 6, варіант 2

7. Неозброєне око бачить об'єкти до зоряної величини 6^m . Телескоп з об'єктивом якого діаметру потрібний, щоб спостерігати зорі 10^m ? Вважайте діаметр людської зіниці за рівним 8 мм.
8. Чи здійснює світловий тиск космічний об'єкт, який випромінює у рентгенівському діапазоні?
9. З якою точністю потрібно вимірювати довжини хвиль ліній в спектрі об'єкту в зеленій області (довжина хвилі близько 550 нм), щоб визначити швидкість його руху з точністю приблизно 100 м/с? Відповідь запишіть у нанометрах.

Для допитливих
Розв'яжіть кросворд
Варіант 1. Кросворд №5 (рис.20)

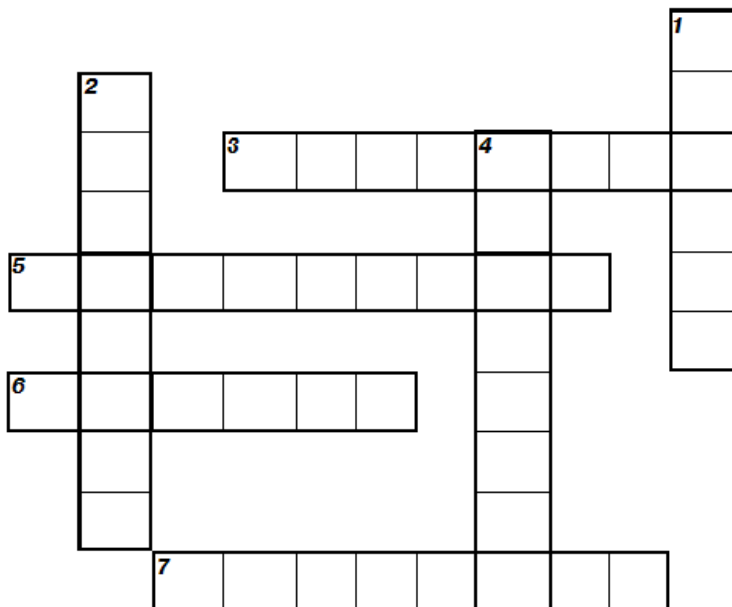


Рис. 20. Кросворд №5

По горизонталі:

- 3. Частина телескопа-рефлектора, що є його об'єктивом.
- 5. Допоміжний астрономічний інструмент, що містить плоске дзеркало, переміщуване так, що відбиті їм сонячні промені зберігають напрям, паралельний осі миру.
- 6. Кутомірний астрономічний інструмент.
- 7. Частина телескопа, що збирає світло від джерела.

По вертикалі:

- 1. Якнайдавніший астрономічний інструмент, що складається з вертикального стрижня на горизонтальному майданчику і призначений для визначення висоти сонця над горизонтом, напрямку полуденної лінії в даному місці і тому подібне.

2. Астрономічний інструмент для вивчення небесних світил за їхнім електромагнітним випромінюванням.

4. Старовинний кутомірний астрономічний інструмент для вимірювання висоти небесних світил над горизонтом і кутових відстаней між світилами.

Варіант 2. Кросворд №6 (рис.21)

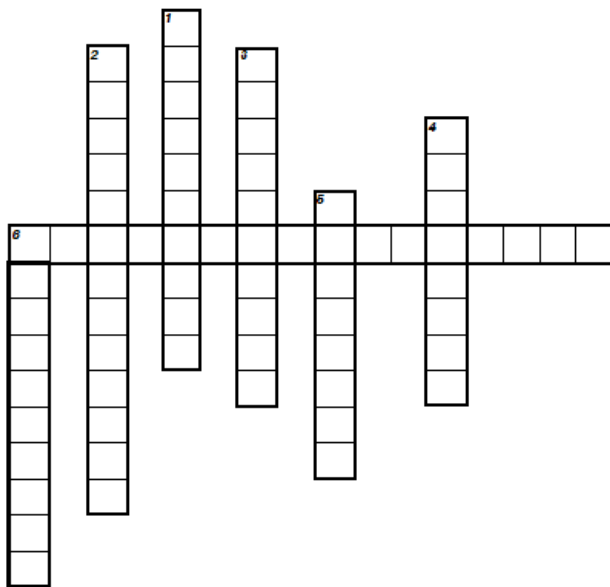


Рис. 21. Кросворд №6

По горизонталі:

6. Астрономічний інструмент для фотографування Сонця в променях вузької спектральної області, відповідної випромінюванню певного хімічного елементу.

По вертикалі:

1. Трикветр, лінійка паралактична, стародавній астрономічний кутомірний інструмент, що застосовувався для вимірювання зенітних відстаней небесних світил.

2. Астрономічний інструмент для фотографування Сонця.

3. Астрономічний інструмент, що дає можливість визначати положення будь-якого світила на небесній сфері щодо небесного екватора.

4. Астрономічний інструмент, що дає можливість визначати положення будь-якого світила на небесній сфері щодо небесного екватора.

5. У морській справі секстан, астрономічний кутомірний інструмент, який використовується в морехідній і авіаційній астрономії.

6. Допоміжний астрономічний інструмент, що містить плоске дзеркало, переміщуване так, що відбиті ним промені від небесного світила зберігають один і той же напрям (подібний до геліостата, але застосовується для спостереження нічних світил).

Олімпіадні задачі

16.. Найбільший радіотелескоп в Аресібо, встановлений в кратері потухлого вулкана, має параболоїдний відбивач діаметром 300 м, направлений в зеніт. Яким чином за допомогою цього телескопа можна спостерігати об'єкти, що не проходять через зеніт?

17.. У трубу телескопа рефрактора з діаметром об'єктива 10 см і фокусною відстанню 1 м на відстані 10 см від об'єктива встановлена діафрагма, у центрі якої є круглий отвір діаметром 7 см. На скільки відрізняється граничне значення зоряної величини в центрі поля зору такого телескопа від аналогічної величини без діафрагми при візуальних спостереженнях? З якою метою встановлюється така діафрагма?

Відповідь.

Діафрагма буде вирізати промені світла, які заломлюються краями лінзи, і робочий діаметр об'єктива буде зменшуватися так, як показано на рисунку.

Визначимо ефективний діаметр об'єктива. Нехай D – діаметр об'єктива, D' – ефективний діаметр об'єктива, d – діаметр отвору в діафрагмі, f – фокусна відстань,

а l – відстань від об'єктива до діафрагми. Із подібності трикутників

$$\frac{d}{f-l} = \frac{D'}{f}$$

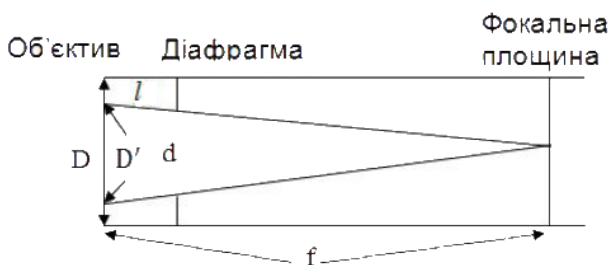


Рис. 22. До задачі 17.

Звідси, $D' = \frac{df}{f-l} = 7,8 \text{ см.}$

Гранична зоряна величина для візуальних спостережень може бути визначена наступним чином: $m = m_0 - 5 \lg D_0 + 5 \lg D$, де m_0 і D_0 – гранична величина неозброєного ока і його діаметр. Таким чином, для діаметра об'єктива D' отримуємо: $m - m' = 5 \lg D - 5 \lg D' = 5 \lg D/D' = 0,54$.

Додаткова діафрагма зазвичай вставляється для того, щоб ослабити аберацию об'єктива, яка вноситься краями лінзи.

18. Телескопу доступні зорі до 19^m . Чи можна з його допомогою зареєструвати кулясте скупчення з мільйона зірок, подібних до Сонця, що знаходиться в сусідній галактиці на відстані 10 Мпк від нас?

Відповідь. Абсолютна величина Сонця $+5^m$. Отже абсолютна величина скупчення $+5^m - (5^m + 5^m + 5^m) = -10^m$. Галактика знаходиться в мільйон разів далі стандартної відстані (10 пк), отже ослаблення блиску складає 10^{12} разів або $(12/2) \cdot 5^m = 30^m$. Видима зоряна величина скупчення дорівнює $-10^m + 30^m = 20^m$ і недоступна для телескопа.

19. Відстань між компонентами подвійної зорі Капели $0,054''$. Який окуляр потрібно застосовувати, щоб спостерігати

її роздільно в телескоп діаметром $D=1$ м і фокусом $F=10$ м і телескоп з $D=5$ м і $F=30$ м?

Відповідь. Перший телескоп взагалі не годиться для таких спостережень, оскільки роздільна здатність його об'єктиву $14''/100 \text{ см}=0,14''$, що недостатньо для розділення компонентів Капели. Роздільна здатність другого телескопа $14''/500=0,03''$. Щоб її використовувати, необхідно збільшити цей кут до роздільної здатності ока ($100''$), тобто у $100/0,03 \approx 3$ тис. разів. При $F=30$ м це потребує окуляра з фокусною відстанню $f=30 \text{ м}/3000=1 \text{ см}$. Ясно, що спостерігати оком компоненти такої подвійної зорі можна було б лише з космічним телескопом відповідних параметрів, на який не впливають атмосферні перешкоди. На поверхні Землі за допомогою спеціальних інтерферометричних методів можна було б вивчати цю систему (виміряти відстань між компонентами, їхню орієнтацію і взаємну яскравість), але побачити оком не можливо.

20. Чи можливо помітити неозброєним оком геостаціонарний супутник діаметром 3 метри?

Вважатимемо супутник за дзеркальну сферу з альбедо $A=50\%$. Тоді, якщо $R=1,5$ м – радіус супутника, $s=36$ тис. км – відстань до нього, то різниця у блиску Сонця і супутника буде $\Delta m=2,5 \lg(4/A)+5 \lg(s/R)=39,2$.

Прийнявши $m_{\odot}=-26,6$, отримаємо візуальну яскравість супутника $m=12,6$. Для спостереження такого об'єкта потрібний крупний телескоп.

21. Комета, яка пролітає мимо Землі на відстані 1 а. о. має хвіст з кутовим розміром $0,5^{\circ}$. Оцінити довжину хвоста комети в кілометрах.

Відповідь.

Припустимо, що хвіст комети направлений перпендикулярно до променя зору. Тоді його довжину можна оцінити так. Позначимо кутовий розмір хвоста α . Половину цього кута $\alpha/2$

можна знайти (рис. 23) з прямокутного трикутника, одним з катетів якого є половина довжини хвоста комети $p/2$, а іншим – відстань від Землі до комети L .

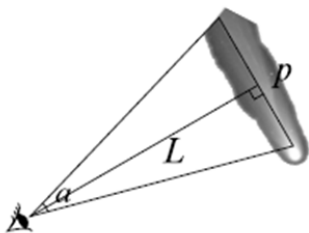


Рис. 23. До задачі 21.

$$\text{Тоді } \operatorname{tg} \alpha/2 = (p/2)/L.$$

Кут $0,5^\circ$ малий, тому можна приблизно вважати, що його тангенс дорівнює самому куту (вираженому в радіанах). Тоді ми можемо записати, що $\alpha \approx p/L$. Звідси, згадуючи, що астрономічна одиниця складає $150 \cdot 10^6$ км, отримуємо $p \approx L \cdot \alpha \approx 150 \cdot 10^6 \cdot (0,5/57) \approx 1,3 \cdot 10^6$ км.

Є і інший варіант оцінки. Можна відмітити, що комета пролітає від Землі на відстані, рівній відстані від Землі до Сонця, а її хвіст має кутовий розмір, рівний видимому кутовому діаметру Сонця на земному небі. Отже, лінійний розмір хвоста дорівнює діаметру Сонця, величина якого близька до отриманого вище результату.

Проте у нас немає інформації про те, як орієнтований хвіст комети в просторі. Тому слід вважати, що отримана вище оцінка довжини хвоста — це мінімальне можливе значення. Таким чином, підсумкова відповідь виглядає так: довжина хвоста комети складає не менше 1,3 мільйона кілометрів.

Практична робота №2

Визначення основних характеристик оптичних телескопів

Мета роботи: навчитися складати оптичні системи телескопів Галілея та Кеплера та визначати основні характеристики цих систем, визначати основні характеристики телескопу астрономічної обсерваторії.

Обладнання: довгофокусна збиральна лінза, короткофокусні збиральна та розсіювальна лінзи, оптична лава з освітлювачем та екраном, геодезична лінійка, міліметрова лінійка, штангенциркуль, телескоп астрономічної обсерваторії, інженерний калькулятор або математичні таблиці.

Теоретичні відомості

Телескоп – оптичний пристрій, призначений для візуального, фото чи відео спостереження за космічними об'єктами. Будь-який телескоп складається з чотирьох основних частин: об'єктиву, окуляру, тубусу та монтування.

Об'єktiv призначений для створення зображення (зменшеного) об'єкту не змінюючи його кутовий розмір. Оскільки здебільшого спостережуваний об'єкт знаходиться дуже далеко за подвійним фокусом, то зображення буде знаходитися біля фокусу об'єктива. В залежності від конструкції об'єктиву телескопи поділяють на рефрактори, рефлектори та меніскові телескопи. У рефракторах об'єktiv – це довгофокусна збиральна лінза, у рефлекторах – увігнуте сферичне чи параболічне дзеркало, а у меніскових телескопах роль об'єктива виконує увігнуте сферичне дзеркало у поєднанні з випукло-ввігнутою лінзою.

Окуляр, який виконує роль лупи, дає змогу наблизитись до зображення об'єкту та розглядати його під більшим кутом, ніж сам об'єкт. При візуальних спостереженнях окуляром телескопу є короткофокусна збиральна або розсіювальна (для рефрактора Галілея) лінза. Під час астрофотографування чи астровідеозйомки окуляром є пристрій, що реєструє зображення. Зараз проводять цифрову реєстрацію та обробку зображення з використанням ПЗЗ-матриць.

Тубус за допомогою спеціальної конструкції сполучає об'єktiv, окуляр та допоміжні елементи оптичної системи телескопу: плоске дзеркало (для рефлектора Ньютона), опукле гіперболічне (для рефлектора Касегрена) або увігнуте еліптичне (для рефлектора Грегорі) допоміжні дзеркала.

Оптичну систему телескопу, закріплену на тубусі, розташовують на монтуванні. Тубус має два ступеня вільності і обертається навколо двох осей. Монтування може бути азимутальним (тубус обертається навколо осі, яка співпадає з прямовисною лінією та навколо перпендикулярної осі) та паралактичним (тубус обертається навколо осі, яка співпадає з віссю світу та

навколо перпендикулярної осі). Паралактичне монтування може бути німецького, англійського, американського типів.

Історично склалося так, що оптичні системи телескопів називають ім'ям вчених, які ці системи запропонували вперше. Так є оптичні системи Галілея, Кеплера, Ньютона, Гершеля, Касегрена, Грегорі, Річі-Кретьєна, Шмідта, Максутава.

Під час утворення зображень в усіх оптичних системах виникають різноманітні відхилення – аберації. До основних абераций відносять: сферичну, хроматичну аберації, кому, астигматизм, дисторсію. Відсутність тієї чи іншої аберації в оптичній системі є однією з основних характеристик телескопу.

В роботі визначаються характеристики оптичних систем Галілея та Кеплера.

До основних вимірюваних фізичних величин, що характеризують телескоп належать:

- Апертура D – корисний діаметр об'єктиву.
- Фокусні відстані об'єктиву $F_{об}$ та окуляру $F_{ок}$.

Знаючи ці величини можна розрахувати три основні характеристики телескопу:

1. Кутове збільшення телескопу Γ – відношення фокусної відстані об'єктиву $F_{об}$ до фокусної відстані окуляру $F_{ок}$:

$$\Gamma = F_{об} / F_{ок} \quad (1)$$

Кутове збільшення позначається так: $\Gamma = 30^x$, що означає тридцятикратне збільшення.

2. Роздільна здатність телескопу δ – найменша кутова відстань, на якій можуть спостерігатися два об'єкти за допомогою телескопу. Визначають роздільну здатність за формулою (в радіанах):

$$\delta = 1,22\lambda / D \quad (2)$$

а для всього діапазону світлових хвиль, якщо прийняти $\lambda = 550$ нм:

$$\delta'' = 140 / D \text{ (мм)}. \quad (3)$$

В (3) D вимірюється у міліметрах, а δ – у секундах дуги.

3. Проникна сила телескопу m_r – гранична зоряна величина, яку ще видно в телескоп у зеніті. Проникну силу можна розрахувати за формулою:

$$m_r = 2,1 + 5 \lg D \text{ (мм)}, (4)$$

причому в (4) D вимірюється в міліметрах.

Апертуру телескопу можна легко визначити за допомогою штангенциркуля.

Фокусні відстані об'єктиву та окулярів в даній роботі визначаються за допомогою освітлювача та екрана, використовуючи формулу тонкої лінзи:

$$1/F = 1/f + 1/d, (5)$$

де f – відстань від лінзи до зображення, d – відстань від об'єкта до лінзи.

Порядок виконання роботи

1. Виміряти апертури довгофокусної збиральної лінзи та об'єктиву телескопу астрономічної обсерваторії. Результати вимірювань занести до таблиці 1.

Таблиця 1. Результати вимірювань

Лінза	D , мм	ΔD , мм	F , мм	ΔF , мм
Довгофокусна				
Короткофокусна збиральна				
Короткофокусна розсіювальна				
Об'єктив телескопу АО				
Окуляр телескопу АО				

2. Виміряти фокусні відстані довгофокусної та короткофокусних лінз. Результати вимірювань занести до таблиці 1. Записати значення фокусних відстаней об'єктиву та окуляру телескопу астрономічної обсерваторії.

3. Скласти модель телескопу з оптичною системою Галілея. Зробити креслення ходу променів в цій оптичній системі.

4. Розрахувати значення роздільної здатності δ за формулою (3) та проникної сили m_r за формулою (4). Результати розрахунків занести до таблиці 2.

5. Розрахувати абсолютні похибки вимірювання $\Delta\delta$ та Δm_{Γ} . Результати розрахунків занести до таблиці 2.

6. Розрахувати теоретичне значення кутового збільшення $\Gamma_{\text{теор}}$ за формулою (1). Результати розрахунків занести до таблиці 2.

7. Визначити фактичне значення кутового збільшення $\Gamma_{\text{експ}}$. Для цього слід одним, неозброєним, оком слід дивитися на лінійку, а іншим – через телескоп на ту саму лінійку, визначаючи, скільки поділок, що видно неозброєним оком, уміщується в одній поділці, яка водночас спостерігається іншим оком через телескоп. Ця кількість поділок і дорівнює фактичному збільшенню телескопу. Результати вимірювань занести до таблиці 2.

Таблиця 2. Результати вимірювань та розрахунків

Телескоп	$\delta, ''$	$\Delta\delta, ''$	$m_{\Gamma}, ^m$	$\Delta m_{\Gamma}, ^m$	$\Gamma_{\text{теор}}, ^x$	$\Delta\Gamma_{\text{теор}}, ^x$	$\Gamma_{\text{експ}}, ^x$	$\Delta\Gamma_{\text{експ}}, ^x$
Галілея								
Кеплера								
АО							----- -	-----

8. Розрахувати абсолютні похибки вимірювання $\Delta\Gamma_{\text{теор}}$ та $\Delta\Gamma_{\text{експ}}$. Результати розрахунків занести до таблиці 2.

9. Порівняти $|\Gamma_{\text{теор}} - \Gamma_{\text{експ}}|$ та $(\Delta\Gamma_{\text{теор}} + \Delta\Gamma_{\text{експ}})$ та зробити висновок.

10. Скласти модель телескопу з оптичною системою Кеплера. Зробити креслення ходу променів в цій оптичній системі. Виконати пункти 4 – 9.

11. Розрахувати значення роздільної здатності, проникної сили та кутового збільшення для телескопу астрономічної обсерваторії.

12. Порівняти між собою розраховані характеристики трьох телескопів та зробити висновок.

Контрольні запитання

1. Як слід зберігати оптику та поводитися з нею?
2. У чому полягає відмінність телескопів Галілея та Кеплера?
3. Зробити креслення ходу променів в телескопах оптичних систем Ньютонa, Касегрена, Річі-Кретьєна, Максудова.

4. Які найбільші рефрактори та рефлектори функціонують в Україні та світі?

5. Які оптичні системи мають найбільші телескопи світу?

6. У чому суть основних аберацій оптичних систем і як від них позбутися?

7. Чому атмосфера Землі впливає на телескопічні спостереження?

8. Небесні координати якої системи (горизонтальної, першої екваторіальної, другої екваторіальної, екліптичної) використовують під час наведення телескопу на об'єкт?

9. Чим відрізняються азимутальні та паралактичні монтування?

Гра 2. Розгадай анаграми

1. Анаграма №1. (рис. 24).

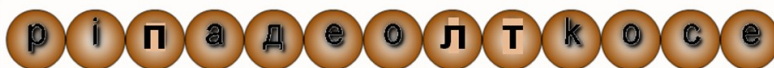


Рис. 24. Анаграма №1

2. Анаграма №2 (рис. 25).

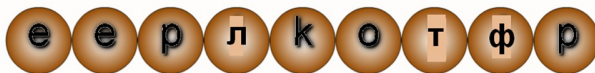


Рис. 25. Анаграма №2

3. Анаграма №3 (рис. 26).

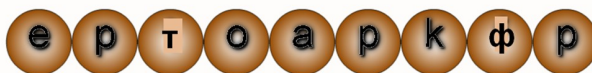


Рис. 26. Анаграма №3

4. Анаграма №4 (рис. 27).

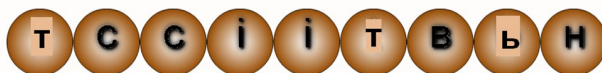


Рис. 27. Анаграма №4

РОЗДІЛ IV. ЗОРІ І ГАЛАКТИКИ

Зорі та їх класифікація. Сонце, його фізичні характеристики, будова та джерела енергії. Прояви сонячної активності та їх вплив на Землю

Приклади розв'язування задач

Задача №32. Можливо, починаючи з Аристотеля, існує стійкий міф, що вдень з глибоких криниць можна побачити зорі. З'ясуйте, чи можливо це насправді [15 с. 8].

Розв'язування.

Це неможливо. Справа в тому, що зорю можна побачити на фоні неба лише тоді, коли потік світла від неї є порівняним з потоком від площі неба, видимі розміри якої дорівнюють роздільній здатності людського ока ($\approx 1'$). Це відповідає відношенню сигналу до шуму (фону), яке дорівнює одиниці. Відповідно до роздільної здатності людського ока це можливо, коли отвір криниці буде видно спостерігачу, який знаходиться на її дні, під кутом $\approx 1'$. Якщо діаметр криниці 1 м, то це відповідає глибині 1 м/ $\text{tg} 1' = 3438$ м. 1) Про криниці такої глибини невідомо; 2) спостерігач буде бачити лише світлу точку, яскравість якої збільшиться на якусь мить, коли зоря із зоряною величиною $m \leq -5,2^m$ буде перетинати зеніт; 3) таких зір не існує.

Але в умовах повної темряви чутливість людського ока значно збільшується і воно здатне виявити сигнал, який всього на 5% перевищує шум. Це дає граничну зоряну величину $-1,9^m$. Але ми знаємо, що найяскравіша зоря на небі Сиріус має видиму зоряну величину $m = -1,46^m$. І тоді лишаються тільки планети: Венера (від $-3,3^m$ до $-4,4^m$), Марс (від $-1,1^m$ до $-2,8^m$), Юпітер (від $-1,4^m$ до $-2,5^m$).

Задача №33. Поняття елонгації застосовується не лише до нижніх планет, але і до зірок. До яких?

Розв'язування.

Під елонгацією зірок, у тому числі і Полярною, розуміється найбільше кутове видалення зорі по азимуту від площини меридіана.

Задача №34. Світло від Сиріуса до Землі йде 8,6 років. Визначте світимість Сиріуса, якщо відомо, що його абсолютна зоряна величина $M_1 = 1,4$, а абсолютна зоряна величина Сонця $M = 4,8$.

Розв'язування. Світність (L) характеризує потужність випромінювання зорі. Формула, що зв'язує абсолютні зоряні величини і світимість зірок, аналогічна співвідношенню між видимою яскравістю зорі і її видимою зоряною величиною, тобто $L_1/L_2 = 2,512^{(M_2 - M_1)}$,

де L_1 і L_2 – світності двох зірок, а M_1 і M_2 – їх абсолютні зоряні величини.

Приймаючи світність Сонця за одиницю, отримаємо $L = 2,512^{(M_2 - M_1)}$ або $\lg L = 0,4(M_2 - M_1)$, звідки $\lg L = 0,4(4,8 - 1,4) = 1,36$. Тобто світність Сиріуса більше світності Сонця приблизно в 23 рази.

Задача №35. Визначити ефективну температуру і радіус зорі Веги (α Ліри), якщо її кутовий діаметр дорівнює $0,0035'$, річний паралакс $0,123''$ і болометричний блиск – $0,54^m$. Болометрична зоряна величина Сонця рівна $-26,84^m$, а сонячна стала приблизно $2 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{хв})$.

Дано:
Вега, $\Delta = 3,5'' \cdot 10^{-3}$,
 $\pi = 0,123''$,
 $m_b = -0,54^m$,
Сонце,
 $m_{\odot} = -26,84^m$,
 $E_{\odot} = 2 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{хв}) =$
 $= 1/30 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{с})$,
стала
 $\sigma = 1,354 \cdot 10^{-12} \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{град}^4)$

Випромінювання зірки, що падає нормально на одиницю площі земної поверхні, аналогічне сонячній сталій, обчислюється за формулою:

$$\lg \frac{E_1}{E_2} = 0,4(m_2 - m_1).$$

$$\begin{aligned} \lg \frac{E_1}{E_2} &= 0,4(m_2 - m_1) = 0,4(-26,84^m + 0,54^m) = \\ &= -10,520 = -11 + 0,480, \end{aligned}$$

$T_e = ?$ R-?

звідки $\frac{E_1}{E_2} = 3,02 \cdot 10^{-11}$,

$$\text{або } E = 3,02 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{1}{30} = 1,007 \cdot 10^{-12} \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{с}).$$

$$\begin{array}{cccc} \text{відповідно} & \text{ефективна} & \text{температура} & \text{зірки} \\ T_e = 642,34 \sqrt{\frac{E}{\sigma \Delta^2}} = 642,3 \sqrt{\frac{1,007 \cdot 10^{-12}}{1,354 \cdot 10^{-12} \cdot (3,5 \cdot 10^{-3})^2}} = 10100 \text{ K} \end{array}$$

$$\text{Радіус Веги } R = 107,4 \frac{\Delta}{\pi} = 107,5 \cdot \frac{3,5 \cdot 10^{-3}}{0,123} = 3,1$$

Задача №36. Максимум випромінювальної здатності яскравої зорі Арктур припадає на довжину хвилі $\lambda_{\text{max}} = 580 \text{ нм}$. Вважаючи, що зоря випромінює як абсолютно чорне тіло, визначити температуру поверхні зорі.

Дано:

$$\lambda_{\text{max}} = 580 \text{ нм}$$

Розв'язування.

Скористаємося законом Віна, згідно з яким довжина хвилі, що відповідає максимальному значенню випромінювальної здатності абсолютно чорного тіла, обернено пропорційна його абсолютній температурі:

$\lambda_{\text{max}} = b/T$, де $b = 0,002896 \text{ м} \cdot \text{К}$ – стала Віна. З виразу закону Віна знайдемо:

$$T = \frac{b}{\lambda_{\text{max}}} = \frac{0,002896}{580 \cdot 10^{-9}} = 5000 \text{ (K)}.$$

Відповідь: $T = 5000 \text{ К}$.

T-?

Задача №37. Відстані до зірок такі великі, що лише у деяких зірок кутові розміри диска дозволяють «відновити» зображення зорі. Проте, деякі дані у нас є. Для яскравої зорі (болометрична величина $m = 0,9^{\text{m}}$) вимірювання кутового діаметру дали значення $\gamma \approx 10 \text{ mas}$. Якого вона кольори?

Відповідно до закону Стефана-Больцмана світність зірки $L = 4\pi R^2 \sigma T^4$, а створювана нею освітленість на відстані d дорівнює

$$E = \frac{L}{4\pi d^2} = \frac{4\pi R^2 \sigma T^4}{4\pi d^2} = \frac{R^2}{d^2} \sigma T^4 = \frac{\gamma^2 \sigma}{4} T^4.$$

Зіставимо набутого значення з сонячною сталою $E_{\odot}$, використовуючи формулу Погсона:

$$\frac{E}{E_{\odot}} = 10^{0,4(m_{\odot} - m)} \Rightarrow T = \left(\frac{4E_{\odot} \cdot 10^{0,4(m_{\odot} - m)}}{\gamma^2 \sigma} \right)^{0,25} \approx$$

Така температура відповідає помаранчевому кольору зірки.

4.1. Що вимірюється парсеками?

а) Паралакси; **б)** відстань від планет; **в)** відстань до галактики; **г)** світність зір; **д)** відстань до зір.

4.2. Неозброєним оком на небі можна побачити найслабкіші зорі такої видимої зоряної величини:

а) $+1^m$; **б)** $+6^m$; **в)** $+10^m$; **г)** -1^m ; **д)** 0^m .

4.3. Яка зоря є найяскравішою на нашому нічному небі?

а) Вега; **б)** Сиріус; **в)** Капелла; **г)** Полярна зоря; **д)** Альтаір.

4.4. Річний паралакс зорі дорівнює $1''$. На якій відстані знаходиться зоря?

а) 1 пк; **б)** 1 а.о.; **в)** 3,26 св.р.; **г)** 206265 а.о.; **д)** 1 св.р.

4.5. Зорі якого кольору мають найнижчу температуру?

а) Білі; **б)** жовті; **в)** червоні; **г)** зелені; **д)** сині.

4.6. 1 парсек дорівнює:

а) ≈ 1013 км; **б)** $\approx 3,1013$ км; **в)** 1010 км;

г) $\approx 3,26$ св.р.; **д)** 206265 а.о.

4.7. Зорі білі карлики бувають:

а) За розмірами менше від Землі;

б) за розмірами більші від Сонця;

в) за масою менше від Землі;

г) за масою більші від Сонця;

д) за густиною менші від густини води.

4.8. Світність зорі визначає:

- а)** Потужність випромінювання зорі;
- б)** видиму зоряну величину;
- в)** абсолютну зоряну величину;
- г)** абсолютну температуру зорі;
- д)** радіус зорі.

4.9. Яка зоря є найяскравішою на земному небі?

- а)** Вега; **б)** Сиріус; **в)** Капелла; **г)** Сонце; **д)** Альтаїр.

4.10. Зорі червоні гіганти бувають:

- а)** За розмірами менші від Землі;
- б)** за розмірами більш за Сонце;
- в)** за масою менше від Землі;
- г)** за масою більш за Сонце;
- д)** за густиною більш за густину води.

4.11. Видиме положення кожної зорі однозначно характеризується її координатами. Чому в сучасній астрономії збереглося поняття сузір'я?

4.12. Як зміниться вид зоряного неба при спостереженнях з околиць Сиріуса?

4.13. У зірок Плеяд виявлена залежність: чим менше видимий блиск зорі, тим більше пізній спектральний тип вона має. Як це можна пояснити?

4.14 Які зорі називаються інфрачервоними?

4.15. Які зорі є коричневими карликами?

4.16. Що таке вуглецеві зорі?

4.17. Чи є вода на зорях?

4.18. Чому болометрична амплітуда блиску Міри Кита менше амплітуди її блиску у візуальній області?

4.19. Які зорі стають новими?

4.20. Чи може нова спалахнути ще раз?

4.21. Яка змінна зоря має максимальну амплітуду блиску?

4.22. Яку яскраву фізичну змінну зорю більшість населення земної кулі можуть бачити всі ночі впродовж року?

4.23. Зоря Арктур має масу, в 1,5 разу більшу, ніж у Сонця, світність – у 210 разів більшу, ніж у Сонця, і температур у 4300 К. Чему дорівнює її середня густина?

4.24. Дві зорі мають однакову масу, видиму зоряну величину і кутовий діаметр. При цьому перша зоря знаходиться удвічі далі другої. Як співвідносяться їх середня густини і температури?

4.25. Зорі-надгіганти мають практично однакову світність, не залежну від температури. Як змінюється радіус цих зірок залежно від температури?

4.26. Який фізичний закон дозволяє обчислювати розміри зірок?

4.27. На скільки спектральних класів поділяються зорі?

4.28. До якого спектрального класу відноситься Сонце?

4.29. У скільки разів за масою можуть відрізнятися зорі?

4.30. У скільки разів за температурою можуть відрізнятися зорі?

4.31. З яких хімічних елементів в основному складаються зорі?

4.32. Що таке „зоряний паспорт”?

4.33. Якою залежністю зв'язані світність і маса зорі?

4.34. Який колір мають зорі з температурою поверхні 10000 K?

4.35. На чому заснована гарвардська класифікація зірок?

Види зір. Планетні системи інших зір. Еволюція зір.

Чорні діри

Приклади розв'язування задач

Задача №38. „Зоря 47 Великої Ведмедиці”.

У зорі 47 Великої Ведмедиці виявлена планета. Період обертання планети навколо зорі $T=3$ роки. Маса зорі $M=1,1M_{\odot}$. На якій відстані a знаходиться планета від зорі (у а.о.)?

1 рік $= 3,2 \cdot 10^7$ с; 1 а.о. $= 1,5 \cdot 10^{11}$ м; $M_{\odot} = 2,0 \cdot 10^{30}$ кг. Гравітаційна стала $G = 6,67 \cdot 10^{-11}$ Н·м²/кг².

Розв'язування. З рівняння руху для колових орбіт

$$m\omega^2 a = \frac{GMm}{a^2}, \text{ де } \omega = \frac{2\pi}{T},$$

отримуємо :

$$a = \left[\left(\frac{T}{2\pi} \right)^2 GM \right]^{1/3} = 3,2 \cdot 10^{11} \text{ м} = 2,1 \text{ а.о.}$$

Задача №39. Нейтронна зоря.

Розглянемо нейтронну зорю з середньою густиною $\rho = 10^{15} \text{ г/см}^3$. Припустимо, що радіус цієї зорі дорівнює граничному радіусу $R = a \cdot R_g$, де $a = 4/3$, $R_g = 2GM/c^2$ – гравітаційний радіус зорі, $G = 6,67 \cdot 10^{-8} \text{ дин} \cdot \text{см}^2/\text{г}^2$ – гравітаційна стала в системі одиниць Гауса, $c = 3 \cdot 10^{10} \text{ см/с}$ – швидкість світла у вакуумі.

Обчисліть масу цієї зорі (в одиницях сонячної маси $M_\odot = 2 \cdot 10^{33} \text{ г}$) і її радіус (у км).

Розв'язування.

Так як:

$$R = a \cdot \frac{2GM}{c^2} \text{ і } M = \rho \cdot \frac{4\pi R^3}{3}, \text{ то } R = c \cdot \sqrt{\frac{3}{8\pi a G \rho}} = 11 \text{ км}$$

і

$$M = \frac{4\pi \rho R^3}{3} = 5,6 \cdot 10^{33} \text{ г} = 2,8 M_\odot.$$

Задача №40. Надмасивна чорна діра в центрі нашої Галактики.

Передбачається, що в центрі нашої Галактики знаходиться «надмасивна чорна дірка». За спостереженнями 1992-2002 р.р. вдалося побудувати орбіту руху зорі S2 навколо надмасивної чорної діри в центрі Галактики. Орбіта цієї зорі виявилася еліптичною:

- 1) ексцентриситет орбіти $e = 0,87$;
- 2) орбітальний період $T = 15,2$ роки;
- 3) мінімальна відстань від надмасивної чорної діри $r_{\min} = 120 \text{ а.о.}$, де $1 \text{ а.о.} = 1,5 \cdot 10^{11} \text{ м}$.

Оцініть масу і гравітаційний радіус передбачуваної надмасивної чорної діри за даними про орбіту зорі S2.

Масу M центрального тіла знаходимо з третього закону Кеплера:

$$\frac{MT^2}{a^3} = \frac{4\pi^2}{G} \Rightarrow M = \left(\frac{2\pi a}{T} \right)^2 \frac{a}{G}. \quad (1)$$

Враховуючи, що $r_{\min} = a(1 - e)$, з (1) отримуємо:

$$M = 6,6 \cdot 10^{36} \text{ кг} = 3,3 \cdot 10^6 M_{\odot},$$

$$R_g = 2GM / c^2 = 0.065 \text{ a.o.} \quad (2)$$

4.36. Абсолютна зоряна величина Сонця дорівнює:

а) $-26,7^m$; **б)** -7^m ; **в)** 0^m ; **г)** $+5^m$; **д)** $+10^m$.

4.37. У майбутньому Сонце може перетворитись:

а) На планетарну туманність; **б)** на пульсар;
в) на чорну діру; **г)** на червоний гігант; **д)** на білий карлик.

4.38. Планетарна туманність – це такий об'єкт:

а) Де утворюються нові планети;
б) який має тверду поверхню й нагадує планету;
в) який утворюється, коли зоря скидає зовнішні шари;
г) на який перетворюються планети після атомної війни;
д) що утворюється після зіткнення двох зір.

4.39. Найбільша світність надкової зорі сягає:

а) 10^3 ; **б)** 10^5 ; **в)** 10^8 ; **г)** 10^{11} ; **д)** 10^{30} світностей Сонця.

4.40. Світність нової зорі в максимумі сягає:

А) 10^{30} ; **б)** 10^{12} ; **в)** 10^5 ; **г)** 10^3 ; **д)** 10 світностей Сонця.

4.41. Цефеїди привернули увагу астрономів тим, що:

а) Це чорні діри, які були відкриті в сузір'ї Цефей;
б) це подвійні зорі, які періодично затемняють одна одну;
в) це змінні зорі, які періодично закриваються планетами;
г) це перші пульсари, які були відкриті в сузір'ї Цефей;
д) це змінні зорі, які періодично змінюють свій радіус і коливаються у своєму гравітаційному полі.

4.42. Зорі яких спектральних класів світять найдовше?

а) Блакитні гіганти; **б)** білі гіганти;

в) жовті карлики; **г)** білі карлики; **д)** червоні карлики.

4.43. Скільки часу можуть світити в стані рівноваги зорі спектрального класу G?

а) 10^{11} років; **б)** 10^{10} років; **в)** 10^8 років;

г) 10^6 років; **д)** 10^{19} років.

4.44. Астрономи застосовують термін “чорна діра” до таких об’єктів:

а) Стадія еволюції зорі, коли з поля тяжіння не випускаються електромагнітні хвилі;

б) чорні планети, які обертаються далеко від Сонця й мають температуру, близьку до абсолютного нуля;

в) провалля в космічному просторі, куди зникають планети й зорі;

г) чорні хмари космічного пилу, з яких утворюються нові зорі;

д) чорні зорі, що руйнують космічні кораблі.

4.45. Чому більшість зірок і планет мають форму, близьку до сферичної?

4.46. Яку форму має поверхня рівного гравітаційного потенціалу одиночної зорі? подвійної зорі?

4.47. Чим відрізняються зорі від планет?

4.48. У яких космічних об’єктах: зорях або планетах – структура речовини складніша?

4.49. Структура речовини яких зірок – гарячих або холодних – складніша?

4.50. У яких зірках відбуваються відхилення від стану механічної і теплової рівноваги?

4.51. Дві зорі володіють абсолютно однаковою масою і однаковим віком, але одна з них обертається. У якої з них запас теплової енергії більший?

4.52. У яких діапазонах електромагнітних хвиль спостерігають народження зірок, а в яких - кінець їх життя?

4.53. Як утворюється безперервний спектр зорі?

4.54. У Веги або Сонця розподіл енергії в спектрі ближче до розподілу енергії в спектрі чорного.

4.55. Розставте в порядку збільшення маси зорі головної послідовності наступних спектральних класів: G, A, O, M, B.

4.56. Для зірок якого типу виконується правило: чим зоря гарячіше, тим більше її світність?

4.57. Червона зоря не перевершує Сонце по масі, але світить набагато потужніше. Що це за зоря?

4.58. Зоря удесятеро поступається Сонцю по світності. Що це за зоря?

4.59. Визначите масу чорної діри, гравітаційний радіус якої дорівнює радіусу типової нейтронної зорі (10 км.). Відповідь дайте в масах Сонця.

4.60. Визначте швидкість руху частинки навколо чорної діри по круговій орбіті на відстані 32 гравітаційних радіуса від її центру.

Самостійна робота №9

Варіант 1

1. Чому гарячі зорі малої світності називаються білими карликами?

2. Чому зорі з однаковою поверхневою температурою можуть мати різні потужності випромінювання?

3. Чим розрізняється термоядерний синтез у зорях і на Землі?

4. Зоря головної послідовності має блиск 0^m і віддалена від нас на 100 пк. Старше вона або молодше за Сонце? Відповідь поясніть.

Варіант 2

1. У яких зірок: гігантів або карликів – товщина фотосфери менша?

2. Дві зорі спектральних класів K і M мають однакові світності. Чи однакові розміри вони мають?

3. Завдяки якому квантовому ефекту можливе існування зірок?

4. Глибина мінімуму затемнено-змінної зорі складає 1^m . Який це мінімум – головний або вторинний? Відповідь поясніть.

Молочний Шлях. Будова Галактики. Місце Сонячної системи в Галактиці. Зоряні скупчення та асоціації. Туманності. Підсистеми Галактики та її спіральна структура

Приклади розв'язування задач

Задача №42. Скупчення галактик складається з 10000 однакових галактик з блиском 18^m кожна. Усе скупчення на земному небі має кутовий діаметр 5° . Спектральні вимірювання показали, що червоне зміщення скупчення складає 0,1, а різниця променевих швидкостей окремих галактик і променевої швидкості скупчення досягає ± 500 км/с. вважаючи, що всі галактики складаються із зірок схожих на Сонці, визначите внесок темної матерії в масу скупчення.

Дано:	Розв'язування.
$N=10000$	Визначимо відстань до скупчення галактик за
$\delta=5^\circ$	законом Габбла: $d = \frac{cz}{H} = 440 \text{ Мпк.}$
$m=18$	Кутовий радіус скупчення галактик дорівнює
$z=0,1$	$\delta/2=2,5^\circ$, отже, просторовий радіус складає
$v=500 \text{ км/с}$	$R = d \sin\left(\frac{\delta}{2}\right) = 20 \text{ Мпк} = 6 \cdot 10^{23} \text{ м.}$
$\eta=?$	Максимальна різниця променевих швидкостей окремих галактик і усього скупчення приблизно

дорівнює першій космічній швидкості на краю скупчення v . З цього можна отримати повну масу скупчення галактик:

$$M = \frac{v^2 R}{G} \approx 2 \cdot 10^{45} \text{ кг} = 10^{15} M_\odot. \text{ Тут } M_\odot - \text{ маса Сонця. Визначимо}$$

сумарну масу усіх зірок скупчення. Абсолютна зоряна величина кожної з галактик дорівнює $m_0 = m + 5 - 5 \lg d = -20,3$.

Якщо вважати, що кожна зірка схожа на Сонце з абсолютною зоряною величиною $m_s = +4,7^m$, то можна визначити число зірок у кожній галактиці: $N_G = 10^{0,4(m_s - m_0)} = 10^{10}$. Сумарна маса зірок скупчення дорівнюватиме: $M_s = M_\odot \cdot N \cdot N_G = 2 \cdot 10^{44} M_\odot$. Бачимо, що зорі складають усього 10% маси усього скупчення галактик, інші 90% приходяться на темну матерію.

Отже: $\eta = 0,9$.

Задача №43. Визначте повну просторову швидкість зорі, якщо її річний паралакс $p=0,05''$, власний рух складає $\mu=0,15''$ у рік, а спектральна лінія з довжиною хвилі $\lambda=600$ нм зміщена до червоного кінця спектру на відстань $\Delta\lambda=3$ нм.

Розв'язування. Повна просторова швидкість зірки визначається формулою $v = \sqrt{v_t^2 + v_r^2}$. Швидкість зірки, направлена по променю зору спостерігача, називається променевою швидкістю. Променева швидкість зірки визначається по зсуву ліній її спектру (закон Доплера):

$$v_r = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} c. \text{ Тоді, } v = \sqrt{\left(4,74 \frac{\mu}{p}\right)^2 + \left(\frac{\Delta\lambda}{\lambda} c\right)^2}, \text{ звідки}$$

$$v = \sqrt{\left(4,74 \frac{0,15''}{0,05''}\right)^2 + \left(\frac{0,03}{600} \cdot 3 \cdot 10^5\right)^2} \approx 20,7 \text{ (км/с)}.$$

Задача №44. Чому відношення $N_{m+1}/N_m \approx 4$, де N_{m+1} – число галактик, що мають зоряні величини $m+1$, а N_m – число галактик із зоряними величинами m , близько до чотирьох по всіх напрямках? Чому аналогічне відношення для яскравих зірок нашої Галактики близьке до трьох, а для менш яскравих зірок навіть до двох?

Розв'язування. Відношення $N_{m+1}/N_m=3,98$ виконується у разі рівномірного розподілу об'єктів у нескінченній системі. Очевидно, що воно справедливе для тієї частини Метагалактики, де існують галактики. Аналогічні підрахунки для зірок свідчать, що Галактика є обмеженою (кінцевою) системою.

4.61. Перші дослідження Галактики як зоряної системи розпочав:

- а) В. Струве; б) Х. Шеплі; в) Е. Габбл;
г) В. Гершель; д) Д. Амбарцумян.

4.62. Тривалість галактичного року приблизно складає:

- а) 400 млрд. років; б) 200 млрд. років; в) 400 млн. років;
г) 10-12 млрд. років; д) 200 млн. років.

4.63. Структура нашої Галактики:

- а)** кільцеподібна; **б)** взаємодіюча; **в)** спіральна;
г) неправильна; **д)** еліптична.

4.64. Усі твердження, за винятком одного, правильні. Вказати неправильне твердження. Модель Галактики можна побудувати так:

а) через середину Молочного Шляху провести галактичну площину;

б) розділити небесну сферу на невеликі за розміром однакові ділянки;

в) підрахувати кількість зірок на кожній із ділянок;

г) підрахувати гравітаційний радіус;

д) побудувати відповідну діаграму.

4.65. Існування галактики з фіолетовим зміщенням спектральних ліній свідчить:

а) про те, що у Всесвіті діє сила гравітації;

б) про те, що вона рухається назустріч нашій Галактиці;

в) про те, що галактики дуже рідко бувають поодинокими;

г) про те, що вона віддаляється від нашої Галактики;

д) про те, що Всесвіт не може бути статичним.

4.66. Що примушує світитися речовину планетарних туманностей?

4.67. У яких скупченнях міститься більше газу і пилу – у розсіяних чи в кульових?

4.68. Яких зоряних скупчень – розсіяних або кульових – видно більше в сузір'ї Кассіопеї? У сузір'ї Близнюків?

4.69. У кульових скупченнях набагато більше зірок, чим в розсіяних скупченнях. Чому ж всі кульові скупчення на небі слабкіші, ніж безліч яскравих розсіяних скупчень?

4.70. Велика туманність Оріона розташована на відстані приблизно 1350 св. р. від Землі. Її діаметр приблизно 7 пк. Під яким кутом вона видно земному спостерігачеві?

4.71. Чому старі зорі Галактики утворили сферичну підсистему, а молоді – тонкий диск, що обертається?

4.72. Чому в речовині найстаріших зірок галактики дуже мало важких елементів, а в речовині наймолодших, навпаки, підвищений їх вміст?

4.73. Чому спіральний узор Галактики обертається як єдине ціле?

4.74. Чи можна говорити про обертання Галактики, якщо вона складається з дискретних об'єктів – зірок, кожна з яких обертається по своїй еліптичній орбіті з певними параметрами?

4.75. Скупчення галактик у сузір'ї Волосся Вероніки має середнє червоне зміщення 0,0231, кутовий діаметр $12''$ і складається приблизно з 1000 галактик. Визначте характерну відстань між галактиками.

4.76. Кутовий діаметр кульового зоряного скупчення NGC 5694 дорівнює $3'$, а відстань до нього дорівнює 40000 пк. Який лінійний діаметр скупчення?

4.77. Зоряне скупчення у Геркулесі віддалене від нас на 10,5 тис. пк, його кутовий діаметр дорівнює $12'$ і сумарний блиск дорівнює 5,9^m. Обчисліть дійсний діаметр скупчення і його абсолютну зоряну величину.

4.78. Як розрізняються за складом спіральні і еліптичні галактики?

4.79. Маса галактики складає 10^{41} кг, радіус диска – приблизно 6 кпк. Оцініть швидкість найбільш далеких зірок диска цієї галактики.

4.80. Оцініть, яку частину об'єму диска нашої Галактики займають зорі.

Самостійна робота №10

Варіант 1

1. Де розташовано Сонце в Галактиці?

2. Які галактики видно неозброєним оком?

3. Скільки часу доведеться чекати відповіді на радіотелеграму, відправлену до галактики Андромеди, відстань до якої дорівнює 770000 пк?

4. За якими ознаками розрізняються між собою дифузні і планетарні туманності?

5. Визначте просторову швидкість руху зорі, якщо модулі променевої і тангенціальної складових цієї швидкості відповідно рівні 30 км/с і 29 км/с. Під яким кутом до променя зору спостерігача рухається ця зоря?

Варіант 2

1. Яка найближча до нас спіральна галактика?
2. У чому виявляється активність галактик?
3. У місцевому галактичному русі Сонце переміщається із швидкістю 20 км/с у напрямку до зорі Вега. Обчисліть, за який час Сонце переміститься в область простору, де зараз знаходиться Вега, яка віддалена від Сонця на 25 світлових років.
4. Які найстаріші утворення в Галактиці?
5. Зоря рухається в просторі із швидкістю 50 км/с у бік спостерігача під кутом 30° до його променя зору. Визначте променеву і тангенціальну складові швидкості руху зорі.

Світ галактик. Квазари

Приклади розв'язування задач

Задача №45. Визначите галактичний паралакс квазара з червоним зміщенням $z=0,5$.

Дано: $z=0,5$ $\pi_G=?$	Розв'язування. За визначенням, добовий паралакс світила є кут, під яким з нього видно радіус Землі. На цей же кут положення світила на небі відхиляється, якщо проводити спостереження «з краю» Землі по відношенню до об'єкту. Річний паралакс, визначуваний для зірок, – кут, під яким з них видно радіус земної орбіти.
-------------------------------	---

Аналогічним чином можна ввести галактичний паралакс для позагалактичних об'єктів – це кут, під яким з них видно радіус шляху Сонця навколо центру Галактики, що дорівнює 8 кпк. Відстань до квазара можна обчислити згідно із законом Габбла:

$$d = \frac{cz}{H} = 2,2 \cdot 10^9 \text{ нк. Галактичний паралакс дорівнює}$$

$$\pi_G = \arcsin \frac{r}{d} \approx \frac{r}{d} \text{ рад} = 3,6 \cdot 10^{-6} \text{ рад} = 0,75''.$$

Відповідь: $0,75''$

4.81. Квазарами називають... (укажіть правильні твердження)

а). ...ту частину Всесвіту, яка доступна зараз оптичним і радіоастрономічним спостереженням;

б) ...різні зоряні системи, подібні до нашої Галактики;

в) ...зореподібні джерела найбільшої світності, які зустрічаються серед об'єктів Всесвіту;

4.82. Які позагалактичні джерела радіовипромінювання відомі в даний час? Вкажіть всі правильні відповіді.

а) Радіогалактики; **б)** квазари; **в)** туманності.

4.83. У чому проявляється активність галактик?

4.84. Який квазар найближчий до Землі?

4.85. Чому квазари не видно на відстанях з $z < 0,16$?

4.86. Характерний час регулярних змін блиску квазара 3С 273 близько 10 років. Оцініть власні розміри цього квазара.

4.87. Чому лінії в спектрах далеких галактик зміщені в червону частину спектру?

4.88. Що таке галактичний канібалізм?

4.89. Які галактики називаються активними?

4.90. Квазари (квазізоряні радіоджерела) є одними з найскаривіших джерел випромінювання у Всесвіті – вони випромінюють енергії в трильйони разів більше, ніж Сонце. При цьому вони можуть змінювати свій блиск у декілька разів протягом 1-2 діб. Виходячи з цих даних, оцініть верхню межу розмірів квазарів.

Самостійна робота №11

Варіант 1

1. Наднова з абсолютною зоряною величиною -18 спалахнула в галактиці з червоним зміщенням 0,2. Який буде блиск цієї наднової в небі Землі?

2. Космічний телескоп „Габбл” зареєстрував подвійний квазар. Його червоне зміщення дорівнює 0,848, кутова відстань між компонентами – 0,3". Вважаючи масу квазара рівною 10^7 мас Сонця, визначте період обертання в цій системі.

Варіант 2

1. Сучасним телескопам доступні зорі до 28^m . На яких

максимальних зміщеннях можна спостерігати найяскравіші наднові з абсолютною величиною -20^m ?

2. У квазара виявлена періодичність з періодом 1 доба. Оцініть його максимальний розмір.

Підсумкова контрольна робота №4.

„Зорі і галактики“

Варіант 1

1. Як називається видима частина Всесвіту?

а) Чумацький Шлях;	б) Метагалактика;
в) Туманність Андромеди;	г) Велика Магелланова Хмара.

2. До якого типу належить Галактика?

а) до еліптичного;	б) до спірального;
в) до неправильного;	г) правильної відповіді немає.

3. Сонце належить до зірок.

а) головної послідовності;	б) білих карликів;
в) червоних гігантів;	г) надгігантів.

4. Скільки земних років триває галактичний рік?

5. Які зорі називають періодично-змінними?

6. Як називаються найближчі до нашої Галактики неправильні галактики?

7. Сформулюйте закон Габбла.

8. Чим квазари відрізняються від галактик?

9. Галактика віддаляється із швидкістю 3000 км/с. Яке відстань до неї?

10. Чим пояснюється червоне зміщення у спектрах галактик?

11. Паралакс зорі дорівнює $0,01''$, а її видима зоряна величина $+10$. Яка її абсолютна зоряна величина?

12. Зоря, що знаходиться на небесному екваторі, віддалена від Сонця на відстань 94 пк, має нульову променеву швидкість, а її

власний рух рівний $0,006''/\text{рік}$. З якою просторовою швидкістю рухається зоря?

Варіант 2

1. Хто автор класифікації галактик?

а) Гершель;	б) Габбл;
в) Ньютон;	г) Ейнштейн.

2. До якої послідовності на діаграмі Герцшпрунга – Рассела належить більше 90% всіх зірок?

а) до послідовності субкарликів;	б) до Головної послідовності;
в) до послідовності надгігантів;	г) до послідовності гігантів.

3. Яку з названих галактик не видно неозброєним оком?

а) Мала Магелланова Хмара;	б) Велика Магелланова хмара;
в) Туманність Андромеди;	г) галактика в сузір'ї Трикутника.

4. Як називається ясно – срібляста широка смуга, що перетинає небесну сферу і утворена найближчими до нас зорями Галактики?

5. Що називають нейтронною зорею і чому вона має таку назву?

6. Що означає в астрономії термін „реліктове випромінювання”?

7. Що називають „чорною дірою”?

8. З якою швидкістю віддаляється від нас галактика, відстань до якої 25 Мпк?

9. На які основні типи можна розділити галактики за їхнім зовнішнім виглядом і формою?

10. Як визначають відстань до зірок?

11. На якій відстані знаходиться галактика, якщо швидкість її видалення складає $2 \cdot 10^4$ км/с?

12. Визначте період обертання Сонця навколо центру мас Галактики, знаючи, що орбітальна швидкість Сонця рівна 220 км/с, а його відстань від центру Галактики складає 8000 пк.

Для допитливих

Розв'яжіть кросворд

Варіант 1. Кросворд №7 (рис. 28)

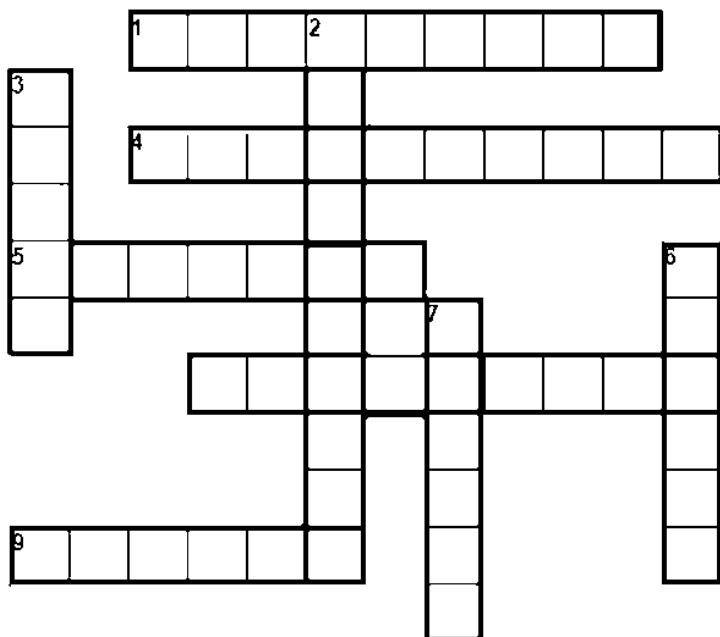


Рис. 28. Кросворд №7

По горизонталі:

1. Перша стадія народження зорі.
4. Розділ астрономії, що займається проблемами еволюції небесних тіл.
5. Вид туманності.
8. Форма галактики.
9. Сузір'я, в якому знаходиться Крабоподібна туманність.

По вертикалі:

2. Газопиловий комплекс.

3. Академік, який дав сучасне уявлення про походження Сонячної системи.

6. Зореподібне джерело радіовипромінювання.

7. Форма скупчення.

Варіант 2. Кросворд №8 (рис. 29)

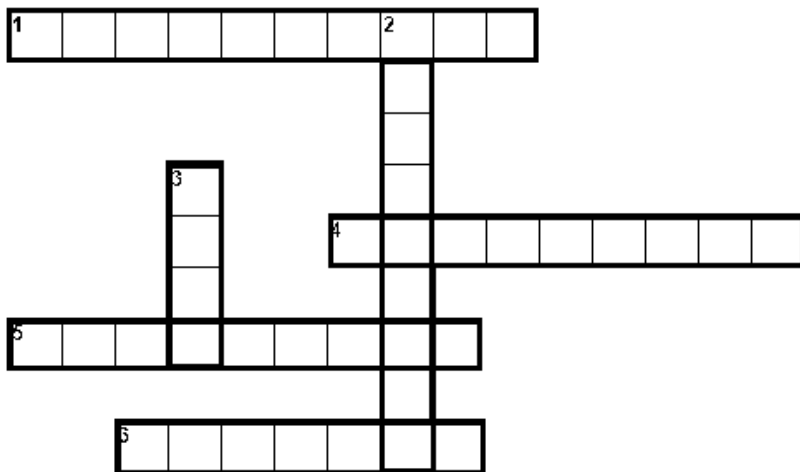


Рис. 29. Кросворд №8.

По горизонталі:

1. Наука, що вивчає Всесвіт з процесами, які в ній відбуваються.

4. Група зірок пов'язаних силами тяжіння.

5. Світлий шлях на зоряному небі.

6. Учений, який передбачив розширення Метагалактики.

По вертикалі:

2. Величезна зоряна система.

3. Об'єкт, отриманий в процесі необмеженого стискування зорі.

Олімпіадні задачі

22. 5 лютого 2009 року, відомий любитель астрономії Вільям Ліллер з Чилі відкрив спалах Нової зорі у Великій Магеллановій Хмарі, карликовій галактиці - супутниці

Чумацького Шляху, віддаленої від нас на відстань 160 тисяч світлових років. Коли, насправді, вибухнула ця зоря?

Відповідь. Світловий рік – одиниця довжини, що дорівнює відстані, яку проходить світлом за один рік. За сучасними уявленнями, швидкість світла у вакуумі – гранична швидкість руху частинок, поширення взаємодій і передачі інформації, яка дорівнює 300000 км/с. Таким чином, світло від вибуху зорі летіло до Землі 160 тисяч років, а сам вибух стався 160 тисяч років тому.

23. Чому навіть в найбільші телескопи в районі Чумацького Шляху майже не спостерігаються галактики?

Відповідь. Міжзоряний пил і газові хмари, присутні в нашій Галактиці в великому обсязі поглинають світло, яке йде від слабких галактик.

24. Галактика має діаметр $R = 30$ кпк і товщину близько $d = 600$ пк. Якщо в нашій Галактиці спалахують 5 наднових за 100 років, то як часто можна очікувати, що вибух наднової відбудеться в околиці нашої Сонячної системи на відстані до 100 пк? Примітка: вважати, що густина населення зірок в Галактиці скрізь однакова.

Відповідь. Спочатку зазначимо, що куля з радіусом $r = 100$ пк і центром у Сонці повністю знаходиться всередині Галактики, так як його радіус значно менше половини товщини Галактики, а Сонце знаходиться неподалік від її площини. Темп спалахів наднових у всій Галактиці складає $N = 0,05$ шт/рік. Для визначення темпу спалахів наднових в околиці Сонця помножимо цю величину на відношення обсягів околиці і всієї Галактики

$$n = N \frac{\frac{4}{3}\pi r^3}{\pi R^2 d} = \frac{4Nr^3}{3R^2 d}.$$

Темп спалахів наднових в околицях Сонця виходить рівним $1,27 \cdot 10^{-7}$ років⁻¹, тобто наднова спалахує там в середньому 1 раз за 8 мільйонів років.

25. На небі населеної планети, що знаходиться в далекій галактиці, наша Галактика з великими труднощами помітна в шкільний телескоп. Знайдіть відстань до галактики.

Відповідь. У шкільний телескоп на межі видимості можна розрізнити галактики до 12^m . Абсолютна зоряна величина нашої Галактики становить близько $-20,5^m$. Позначаючи ці величини як m і M відповідно, визначимо відстань r , з якого наша Галактика з працею була б видна у шкільний телескоп:

$$lgr=1+0,2(m-M).$$

Відстань виявляється рівним 31,6 Мпк.

26. Близьк нової зорі, яка спалахнула в сузір'ї Лебедя 29 серпня 1975 року, збільшився з 21^m до 2^m . В спектрі цієї зорі лінія водню з довжиною хвилі $4861 \text{ \AA}$ була зміщена до синьої частини спектра на $41 \text{ \AA}$. Визначити, у скільки разів збільшилася при спалаху світність зорі і з якою швидкістю було скинуто оболонку.

Відповідь. Якщо до спалаху світність зорі була L_1 і близьк m_1 , а після спалаху - L_2 і m_2 , то зв'язок між ними такий:

$$\lg \frac{L_2}{L_1} = 0,4(m_1 - m_2) = 0,4(21 - 2) = 7,6.$$

Отже, світність зорі збільшилась у $10^{7,6} \approx 4 \cdot 10^7$ разів. Згідно з правилом Доплера, оболонка зорі розширювалась зі швидкістю

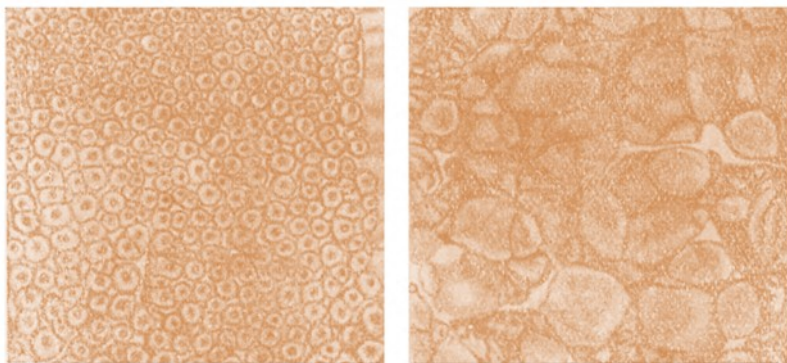
$$v = c \cdot \frac{\Delta\lambda}{\lambda} = 3 \cdot 10^5 \frac{\text{км}}{\text{с}} \cdot \frac{41 \text{ \AA}}{4861 \text{ \AA}} = 2,5 \cdot 10^3 \frac{\text{км}}{\text{с}}.$$

27. Чи існує зв'язок між планетарними туманностями і планетами?

Відповідь. Лише історична: зовнішній вигляд деяких планетарних туманностей нагадує диски планет.

Створення моделі сонячної грануляції

Грануляція обумовлена конвективними рухами на Сонці. Конвекцію можна спостерігати при нагріванні будь-якої рідини. Для відтворення сонячної грануляції використовують розплавлений парафін. Якщо повільно нагрівати шар парафіну товщиною близько 3 мм, то можна спостерігати картину стаціонарної конвекції у вигляді великого числа чітко окреслених багатогранників однакового розміру (рис. 30, а). Зі збільшенням глибини і швидкості розігріву стійкі осередки руйнуються, утворюються нерегулярні багатогранники різних розмірів, які переміщуються (рис. 30, б). Таку нестаціонарну конвекцію можна спостерігати в парафіні з товщиною 12 мм [15, с. 72].



а

б

Рис. 30. Модель сонячної грануляції.

Гра 3. „Зоряна битва”

Правила гри. Клас ділиться на дві команди, команди обирають назву, емблему. За набраними балами визначаються переможці в кожному раунді, у кінці гри – загальний результат.

Гра складається з 5 раундів:

1. „Анаграми.”
2. „Загадки.”
3. „Астрономія і мистецтво.”
4. „Мандрівка в минуле.”

5. „Розпізнай сузір’я.”

Команди отримують завдання кожного раунду одночасно, виконують їх певний час. Перемагає команда, яка набрала найбільшу кількість балів. Якщо все завдання виконано вірно, в зазначений час і раніше суперників, команда може отримати додатково 1 бал в кожному раунді.

1 раунд «Анаграми».

Анаграма №5 (рис. 31): межа між освітленою та неосвітленою Сонцем частинами видимого диска Місяця або планети (має форму півеліпса).

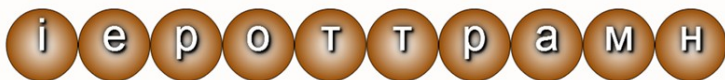


Рис. 31. Анаграма №5.

Анаграма №6 (рис. 32): поверхневий шар зорі, з якого до нас приходить випромінювання в її неперервному спектрі.

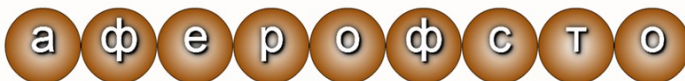


Рис. 32. Анаграма №6.

Анаграма №7 (рис. 33): пульсуючі змінні зорі, що змінюють свій блиск унаслідок коливань, викликаних зміною прозорості речовини під час йонізації та рекомбінації гелію в підповерхневих шарах зорі, і відповідного їхнього нагрівання та охолодження.

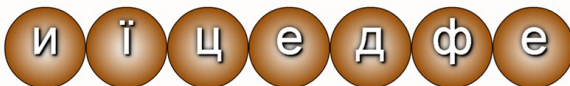


Рис. 33. Анаграма №7.

Анаграма №8 (рис. 34): планети біля інших зір (існування таких планет встановлено останнім часом в основному за допомогою точних вимірювань тієї складової променевої швидкості зорі, що зумовлена її рухом навколо центру мас системи під дією планет).

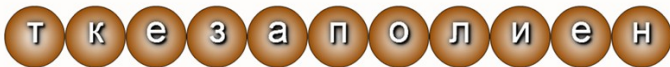


Рис. 34. Анаграма №9.

Анаграма №9 (рис. 35): кільцева смуга сузір'їв, через які проходить екліптика.

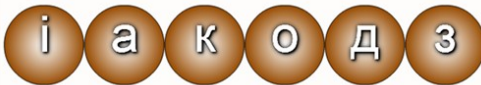


Рис. 35. Анаграма №10.

2 раунд „Загадки”.

- 1) Має величезний зріст,
Має голову і хвіст,
Це не тигр і не ракета.
Натякну вам по секрету.
- 2) Нехожена доріжка посипана горошком.
- 3) Він здалеку прилітає,
Оболонку чорну має
То його надійний щит. Звуть же як ...
- 4) 3600 у градус їх вкладається.
Як називається?
- 5) Срібною доріжкою
Виставивши ріжки,
Через річку перейшов,
Не змочивши підійшов.

3 раунд „Астрономія і мистецтво”.

1) Розгляньте картину художника В. Васнецова «Килим-літак» (рис. 36) і приблизно визначте, в який бік світла направ-

направляється казковий літальний апарат.



Рис. 36. В. Васнецов «Килим-літак».

2) Назвіть ім'я професійного музиканта, який почав займатися астрономією як любитель і відкрив у 1781 р. планету Уран.

3) В оповіданні „Старий і море” Ернст Хемінгуей описує, як старий Сантьяго рибалить у морі біля берегів Куби: «Було темно; у вересні темрява завжди настає раптово, відразу ж після заходу сонця. Він лежав, притулившись до щербатих дошок, і щосили намагався відпочити. На небі з'явилися перші зорі. Він не знав назви зорі Рігель, але, побачивши її, зрозумів, що скоро з'являться і всі інші.» Доведіть, що Сантьяго не міг бачити Рігель. Яку зорю він насправді побачив, якщо, звичайно, це була зоря, а не яскрава планета?

4 раунд „Мандрівка в минуле”.

1. Спостерігаючи за рухом Венери по диску Сонця, цей учений 26 травня 1761 році відкрив атмосферу Венери.

2. Цей учений довів існування нерівностей на Місяці, плями на Сонці, фаз Венери, супутників Юпітера.

3. Про кого кажуть, що він «зупинив Сонце і зрушив Землю»?

4. Цей учений відкрив три основних закони руху планет, які стали носити його ім'я.

5. Цьому датському астроному супутник Юпітера Іо допоміг в 1676 р. визначити швидкість світла.

5 раунд „Розпізнай сузір'я.”

Сузір'я №1 (рис. 37).



Рис. 37. Сузір'я №1.

Сузір'я №2 (рис. 38).

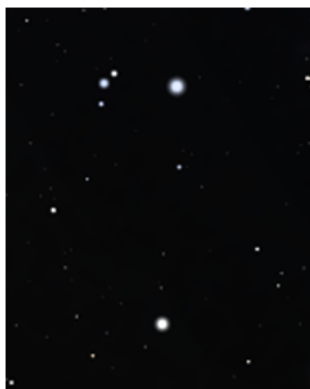


Рис. 38. Сузір'я №2.

Сузір'я №3 (рис. 39).



Рис. 39. Сузір'я №3.

Сузір'я №4 (рис. 40).

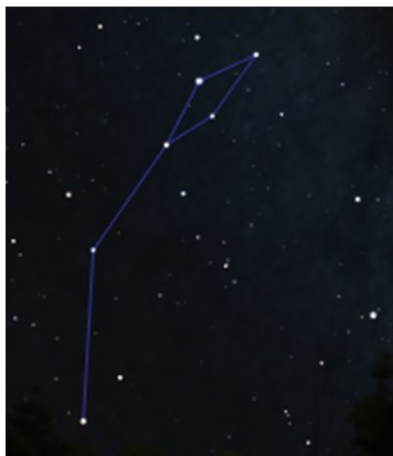


Рис. 40. Сузір'я №4.

РОЗДІЛ V. ВСЕСВІТ

Фундаментальні взаємодії в природі. Роль фізичної та астрономічної наук у формуванні наукового світогляду сучасної людини

У природі існує величезна безліч природних систем і структур, особливості та розвиток яких пояснюється взаємодією матеріальних об'єктів, тобто взаємним дією один на одного. Саме взаємодія – це основна причина руху матерії і воно властиво всім матеріальним об'єктам незалежно від їх походження та їх системної організації. Взаємодія універсальна, як і рух. Взаємодіючі об'єкти обмінюються енергією і імпульсом (це основні характеристики їх руху). У класичній фізиці взаємодія визначається силою, з якою один матеріальний об'єкт діє на інший. Довгий час парадигмою була концепція дальності – взаємодія матеріальних об'єктів, що знаходяться на великій відстані один від одного і вона передається через порожній простір миттєво. В даний час експериментально підтверджена інша – концепція близькості – взаємодія передається за допомогою фізичних полів з кінцевою швидкістю, що не перевищує швидкості світла у вакуумі. Фізичне поле – особливий вид матерії, що забезпечує взаємодію матеріальних об'єктів і їх систем (такі поля: електромагнітне, гравітаційне, поле ядерних сил – слабку і сильну). Джерелом фізичного поля є елементарні частинки (електромагнітного – заряджені частинки), в квантовій теорії взаємодія обумовлено обміном квантами поля між частинками.

Розрізняють чотири фундаментальні взаємодії в природі: сильне, електромагнітну, слабку і гравітаційну, які визначають структуру навколишнього світу.

Сильна взаємодія (ядерна взаємодія) – взаємне притягання складових частин атомних ядер (протонів і нейтронів) і діє на відстані близько 10^{-13} см, передається глюонами. З точки зору електромагнітної взаємодії протон і нейтрон – різні частинки, так як протон електрично заряджений, а нейтрон – немає заряду. Але з точки зору сильної взаємодії, ці частинки не

відрізняються, так як в стабільному стані нейтрон є нестабільною частинкою і розпадається на протон, електрон і нейтрино, але в рамках ядра він стає схожим за своїми властивостями з протоном, тому і був введений термін „нуклон (від лат. nucleus - ядро)» і протон з нейтроном стали розглядатися як два різних стану нуклона. Чим сильніше взаємодія нуклонів в ядрі, тим стабільніше ядро, тим більше питома енергія зв'язку.

У стабільній речовині взаємодія між протонами і нейтронами при не дуже високих температурах посилюється, але якщо відбувається зіткнення ядер або їх частин (нуклонів, що мають велику енергією) тоді відбуваються ядерні реакції, які супроводжуються виділенням величезної енергії.

При певних умовах сильна взаємодія дуже міцно пов'язує частки в атомні ядра – матеріальні системи з високою енергією зв'язку. Саме з цієї причини ядра атомів є досить стійкими, їх важко зруйнувати.

Без сильних взаємодій не існували б атомні ядра, а зорі і Сонце не могли б генерувати за рахунок ядерної енергії теплоту і світло.

Електромагнітна взаємодія передається за допомогою електричних і магнітних полів. Електричне поле виникає при наявності електричних зарядів, а магнітне при їх русі. Змінне електричне поле породжує змінне магнітне – це і є джерело змінного магнітного поля. Взаємодія такого типу властива електрично зарядженим частинкам. Носієм електромагнітної взаємодії є фотон – квант електромагнітного поля. В процесі електромагнітної взаємодії електрони і атомні ядра з'єднуються в атоми, атоми -- в молекули. У певному сенсі це взаємодія є основною в хімії та біології.

Близько 90% інформації про навколишній світ ми отримуємо через електромагнітну хвилю, так як різні агрегатні стани речовини, тертя, пружність і т.п. визначаються силами міжмолекулярної взаємодії, які за своєю природою електромагнітні. Електромагнітні взаємодії описуються законами Кулона, Ампера і електромагнітної теорією Максвелла.

Електромагнітна взаємодія – це основа створення різних

електроприладів, радіоприймачів, телевізорів, комп'ютерів та інше. Вона приблизно в тисячу разів слабше сильної, але діє на більший відстані.

Без електромагнітних взаємодій не було б атомів, молекул, макрооб'єктів, тепла і світла.

Слабка взаємодія можлива між різними частинками, крім фотона, вона є короткодіючою і проявляється на відстанях, менших розміру атомного ядра $10^{-15} - 10^{-22}$ см. Слабка взаємодія менше сильної і процеси при слабкій взаємодії протікають повільніше, ніж при сильній. Відповідає за розпад нестабільних частинок (наприклад, перетворення нейтрона в протон, електрон, антинейтрино). Саме завдяки цій взаємодії, більшість частинок нестабільні.

Без слабких взаємодій не можливі були б ядерні реакції в надрах Сонця і зірок, не виникали б нові зорі.

Гравітаційна взаємодія найслабша, не враховується в теорії елементарних частинок, так як на характерних для них відстанях (10^{-13} см) ефекти малі, а на дуже малих відстанях (10^{-33} см) і при дуже великих енергіях гравітація набуває значення і починають проявлятися незвичайні властивості фізичного вакууму.

Гравітація відіграє визначальну роль в космічних масштабах, мегасвіті.

Без гравітаційних взаємодій не було галактик, зірок, планет, еволюції Всесвіту.

Приклади розв'язування задач

Задача №46. Визначте, на скільки підвищиться температура Землі, якщо на неї впаде тіло, маса якого дорівнює марсіанській ($0,64 \cdot 10^{24}$ кг). Питому теплоємність речовини Землі і Марса прийняти рівною $4,2 \cdot 10^3$ Дж/(кг·К).

Розв'язування. Будемо вважати, що тіло падає на Землю з другою космічною швидкістю, зіткнення непружне, тепловіддачею в навколишній простір нехтуємо. Нехай m_3 і m_T – маса Землі і тіла відповідно, v_T – швидкість падіння тіла на Землю, v – загальна швидкість планет після зіткнення, c – теплоємність речовини, ΔT – зміна температури.

Згідно із законом збереження імпульсу: $m_t v_t = (m_z + m_t) v$.
Згідно із законом збереження енергії:

$$\frac{m_m v_m^2}{2} = \frac{(m_z + m_m)^2}{2} + \Delta E.$$

Звідси обчислюємо енергію, що йде на нагрівання Землі:

$$0,5 m_m v_m^2 \frac{m_z}{m_z + m_m} = (m_z + m_m) \Delta T,$$

і знаходимо, на скільки нагріється Земля: $\Delta T = 1300 \text{ K}$

Задача №47. В скупченні міститься по 10 зірок головної послідовності з температурою 6000 і 10000 K. Об'єктом якої температури буде спостерігатися скупчення як єдине ціле, якщо з відстані 1000 пк воно видно під кутом $1''$? Скористатися емпіричної залежністю між температурою і радіусом зірок: $R = 2,13 \cdot 10^4 \text{ м/К} \cdot T^{1,25} \text{ К}$.

Розв'язування. Розміри об'єкта дорівнює 1000 а.о., тому що відношення його розміру АВ до відстані $r \in \text{tg} 1'' = 1:206265$.

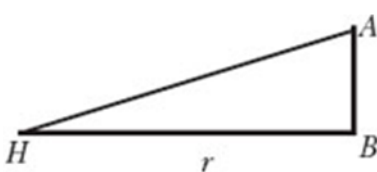


Рис. 41. До задачі №47.

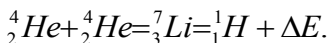
Використовуємо визначення світності як добутку площі поверхні зорі $4\pi R^2$ на кількість енергії, випромінюваної одиницею поверхні з температурою T , рівною, згідно із законом Стефана-Больцмана,

σT^4 .

Оскільки енергія від всіх об'єктів складається і сприймається як випромінювання від одного об'єкта розміром АВ (рис. 41), то має місце рівність:

$$10 \cdot 4\pi \cdot \sigma (2,13 \cdot 10^4)^2 \cdot [6000^{2,5} \cdot 6000^4 + 10000^{2,5} 10000^4] = \\ = 4\pi (500 \text{ а.е.} \cdot 1,5 \cdot 10^{11})^2 \sigma T \Rightarrow T \approx 9500 \text{ K}.$$

Задача №48. Проведіть енергетичний розрахунок термоядерної реакції синтезу ядер гелію-4 в результаті чого утворюються ядра літію-7 і протон (${}^1_1\text{H}$), яка була складовою первинного нуклеосинтезу у Всесвіті, і з'ясуйте, виділяється або поглинається енергія у цій реакції:



Розв'язування. Маса ізотопу атома гелію ${}^4_2\text{He}$ рівна 4,00260 а.о.м. (m_A), маса ізотопу атома літію ${}^7_3\text{Li}$ рівна 7,01601 а.о.м. (m_c), маса атома водню – 1,00783 а.о.м. (m_D).

Для розрахунку енергії використаємо формулу

$$\Delta E = (m_A + m_A - m_c - m_D) c^2.$$

Звідки

$$\Delta E = (4,00260 + 4,00260 - 7,01601 - 1,00783) \text{ а.о.м.} \cdot 1,661 \cdot 10^{-27} \text{ кг/а.о.} \cdot (3 \cdot 10^8 \text{ м/с})^2 = -2,79 \cdot 10^{-12} \text{ Дж} = -17,4 \text{ МеВ}.$$

Таким чином, ядерна реакція відбувається з поглинанням енергії.

5.1. Під час подорожі по Марсу космонавт зронив в невелику западину компас. Щоб дістати його, він кинув туди камінь і визначив, що до дна компас летів 3 с. У його розпорядженні був міцний шнур довжиною 5 м. Чи вистачить довжини шнура, щоб опуститися на дно западини? На вузли піде 0,5 м. Маса Марса $6,39 \cdot 10^{23}$ кг.

5.2. В якому агрегатному стані знаходиться речовина в надрах Сонця? Які приблизно його температура і густина?

5.3. У надрах Сонця відбувається ядерна реакція синтезу водню в ядра гелію: $4({}^1_1\text{H}) = {}^4_2\text{He} + 2e^+ + 2\nu_e + \Delta E$. Скільки енергії виділиться при утворенні 1 кг гелію, якщо енергія зв'язку ядра гелію становить 28,3 МеВ?

5.4. При яких процесах на Сонце виникають корпускулярні потоки і космічні промені? Чим вони відрізняються один від одного?

5.5. Яка енергія виділяється при термоядерної реакції синтезу між дейтерієм і тритієм? ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n} + \Delta E$

5.6. Чим пояснюється спостережувана на Сонце грануляція?

5.7. У процесі термоядерного синтезу $5 \cdot 10^4$ кг водню перетворюється в 49644 кг гелію. Визначте, скільки енергії виділяється при цьому.

5.8. Якою стане температура фотосфери зорі після злиття двох зірок, таких як Сонце? Прийняти, що радіус такого об'єкта в 1,7 рази більше сонячного.

5.9. Експедиція по пошуках придатної для життя землян планети натрапила на об'єкт розміром 1000 км і висадилася на ньому. На планеті виявилася киснева атмосфера. Радості не було межі, оскільки і температура виявилася прийнятною – 300 К. Чи не засмутилися вони через деякий час, дізнавшись, що маятник довжиною 1 м здійснює одне коливання за 5 с?

5.10. Яка точність фотометрії (в зоряних величинах) потрібна далекій цивілізації, щоб зафіксувати проходження Юпітера по диску Сонця? Проходження Землі по диску Сонця? Вважати, що планети проходять перед центром сонячного диска.

Єдина природничо-наукова картина світу. Історія розвитку уявлень про Всесвіт. Походження й розвиток Всесвіту. Основні положення спеціальної теорії відносності. Проблеми космології. Людина у Всесвіті. Антропний принцип. Імовірність життя на інших планетах. Унікальність нашого Всесвіту. Питання існування інших всесвітів

Приклади розв'язування задач

Задача №49. Всесвіт еволюціонує від простого до складного або навпаки?

Розв'язування. На даному етапі еволюція йде від простого до складного. Всесвіт, точніше Метагалактика, знаходилася в момент Великого вибуху в структурно більш простій формі, так як вона не містила в той час ядер елементів, атомів, молекул, космічних тіл і їхніх систем.

Задача №50. Земляни відправили сигнал до зорі τ Кита, має блиск $3,6^m$ і світність, вдвічі меншу, ніж у Сонця. Коли можна чекати у відповідь сигнал?

Відповідь. Через 27 років.

5.11. Коли у Всесвіті не буде галактик?

5.12. Чи оборотна еволюція речовини у Всесвіті?

5.13. Припустимо, у Всесвіті є лише дві однакові галактики з масою 10^{12} мас Сонця, з самого початку не рухаються одна відносно іншої. За якої відстані їх взаємне прискорення обертаються в нуль? Густина темної енергії становить 0,7 від сучасної критичної густини Всесвіту.

5.14. Чи трапляються у Всесвіті переважно поодинокі галактики?

5.15. Чи є Всесвіт у значному масштабі однорідним?

5.16. Що таке вік Всесвіту?

5.17. Скільки можливих варіантів розвитку Всесвіту можна навести відповідно до теорії Фрідмана?

5.18. У якому стані перебував Всесвіт у момент Великого Вибуху?

5.19. Людині, що протягом тисяч років спостерігала небо „нерухомих зір”, картина світу видавалася вічною, нерухомою. Чи дійсно світ навколо нас такий?

5.20. Який спостережуваний факт є підтвердженням розширення Всесвіту?

5.21. Яку структуру має розподіл речовини у Всесвіту?

5.22. Що є предметом вивчення космології?

5.23. На якій фізичній теорії базується сучасна космологія?

5.24. Що мають на увазі, коли говорять про розширення Всесвіту?

5.25. Чи існує центр розширення Всесвіту?

5.26. Чому дорівнює вік Всесвіту, вимірюваний земними роками?

5.27. Яких хімічних елементів найбільше у Всесвіті і коли вони утворилися?

5.28. На ранній стадії Всесвіту сталася анігіляція речовини і антиречовини. Чому все ж існує наш світ, що складається з речовини?

5.29. Який наочний факт вказує на відсутність у Всесвіті антисвітів?

5.30. До яких висновків про еволюцію Метагалактики можна прийти, знаючи, що фізичні властивості близьких і далеких зірок і галактик однакові?

Самостійна робота №12

Варіант 1

1. Емісійні туманності...:

а) мають неперервний спектр з яскравими лініями поглинання;

б) мають емісійний спектр з лініями випромінювання;

2. Причина світності емісійної туманності:

а) червоний надгігант з температурою фотосфери 3000 К;

б) зоря головної послідовності спектрального класу G з температурою близько 6000 К (типа Сонця);

в) блакитний надгігант спектрального класу O або B.

3. Чи існувала коли-небудь антиречовина у Всесвіті?

Варіант 2

1. Найбільш холодними об'єктами міжзоряного середовища є:

а) хмари H I, області неіонізованого водню;

б) хмари H II, області іонізованого водню (емісійні туманності);

в) глобули.

2. Джерелом найбільш інтенсивного збору пилу в Галактиці є:

а) наднові зорі та червоні гіганти;

б) планетарні туманності;

в) спалахи нових зір.

3. Чому розбігаються галактики, хоча в той час, коли стався Великий вибух, їх ще не існувало?

Підсумкова контрольна робота №5. „Всесвіт”

Варіант 1

1. Останньою стадією еволюції Сонця є ...

а) чорна діра; б) нейтронна зоря;

в) білий карлик; г) квазар.

2. Туманність Андромеди - це ...

а) галактика; б) сузір'я;

в) зоря; г) зоряне скупчення.

3. Параметром, який визначає майбутнє Всесвіту, є ...

- а)** середня густина; **б)** середня температура;
в) маса; **г)** об'єм.
4. Який обсяг інформації передає людина своїм нащадкам за допомогою генів?
- а)** 10Гбайт; **б)** 10^{23} байт; **в)** 10^{20} Кбайт; **г)** 10^{23} Мбайт; **д)** 10^{33} байт.
5. Які зорі називають маяками Всесвіту?
6. Які зорі називають надновими?
7. Зорі яких спектральних класів світять довше?
8. Що астрономи розуміють під терміном „галактичний канібалізм”?
9. У напрямку якого сузір'я знаходиться центр нашої Галактики?
10. Якою буде світність Сонця, якщо воно в майбутньому перетвориться на червоний гігант з радіусом в 10 разів більше нинішнього і з температурою 5000 К?
11. За рахунок чого зорі втрачають масу?

Варіант 2

1. Одиницею довжини в астрономії є ...
- а)** паралакс; **б)** кілометр; **в)** ангстрем; **г)** парсек.
2. Червоне зміщення галактик підтверджує те, що Всесвіт ...
- а)** розширюється; **б)** стискається; **в)** статична; **г)** нескінченна.
3. У Галактиці є приблизно ...
- а)** 40 тис. зірок; **б)** 40млн. зірок;
в) 400 млрд. зірок; **г)** 1 млрд. зірок.
4. Чому освоєння космосу може врятувати земну цивілізацію?
- а)** знайдемо нові джерела енергії;
б) освоїмо нові шахти для видобутку металів;
в) будемо переселятися на інші планети;
г) побудуємо в космосі сонячні електростанції;
д) більш могутні космічні цивілізації нададуть нам економічну та інтелектуальну допомогу.
5. Який розділ астрономії називають космологією?
6. Що означає термін «антропний принцип»?
7. Як називається світло – срібляста широка смуга, що перетинає небесну сферу і утворена найближчими до нас зорями Галактики?

8. Перечисліть типи подвійних зірок.
9. До яких розмірів повинен зменшитися радіус Місяця для того, щоб світило перетворилося на чорну діру?
10. Що залишається на місці спалаху наднової зорі?
11. Яка швидкість видалення галактики, що знаходиться від нас на відстані $3 \cdot 10^8$ пк?

Для допитливих

Розв'яжіть кросворд

Варіант 1. Кросворд №9 (рис. 42)

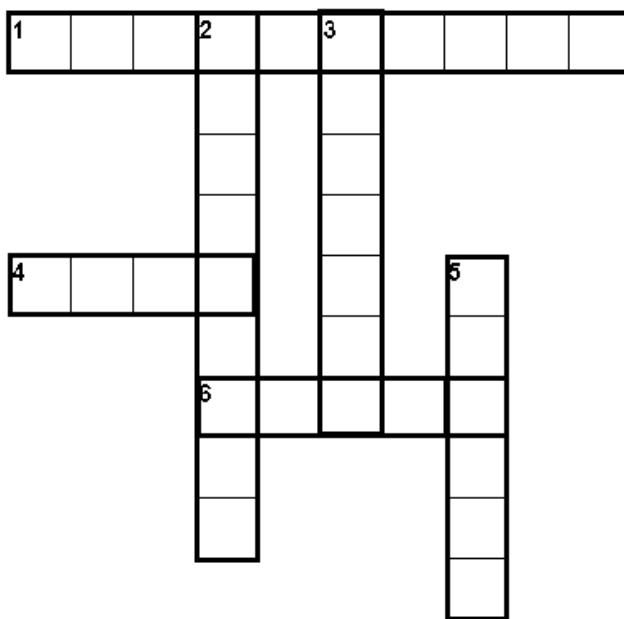


Рис. 42. Кросворд №9.

По горизонталі:

1. Календар, у якому три роки мають по 365 діб, а кожний четвертий (високосний) має 366 діб.

4. Внутрішня оболонка планети, що утворюється виділенням із мантиї найбільш важких порід (металева або силікатно-металева у планет земної групи та силікатна у планет-гігантів);

4. Грецька назва Місяця.

5. Німецький астроном, який одним із перших виміряв відстань до зірок.

По вертикалі:

2. Засновник телескопічної астрономії.

3. Англійський астроном, що обчислив положення Нептуна.

5. Видатний учений-енциклопедист першої половини ХІ сторіччя.

Олімпіадні задачі

28. Астрономи, вивчаючи далекі галактики з червоним зміщенням $z = 3$ і більше, виявили, що вони в середньому яскравіше таких же галактик в нашій околиці. З чим, на вашу думку, це може бути пов'язано?

Відповідь. Основна причина, яка може викликати збільшення яскравості далеких галактик - гравітаційне лінзування. На таких великих відстанях ймовірність випадкового потрапляння масивного тіла (іншої галактики, скупчення галактик) на промінь зору стає досить великою. У цьому випадку замість одного зображення галактики до нас дійде два або більше, причому як мінімум одне зображення буде посилено. Це і призведе до удаваному посиленню яскравості галактик. Крім цього, ми бачимо далекі галактики такими, якими вони були мільярди років тому. В цей час іншим був і хімічний склад зірок, що входять в галактики. У них могло бути значно менше важких елементів, які є головними джерелами непрозорості фотосфери зірок типу Сонця. В результаті, зорі при тих же масах володіли іншими спектральними характеристиками і трохи іншим положенням на діаграмі Герцшпрунга-Рассела. Це також могло позначитися на яскравості галактик.

29. Оцініть відношення чисел фотонів і нейтрино, які випромінюються Сонцем кожену секунду. При синтезі однієї α -частинки виділяється енергія 26,7 MeV, причому нейтрино забирають лише малу частину цієї енергії.

Відповідь. Максимум в спектрі Сонця припадає на жовто-зелену область спектра. Енергія одного фотона з довжиною

хвилі λ , що дорівнює $5500 \text{ \AA}$, складає, $E = h\nu = hc / \lambda$, тобто $3.6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$ або близько 2 еВ . Таким чином, синтез однієї α -частинки супроводжується виділенням $13,3$ мільйонів фотонів. Але ми знаємо, що при такому самому синтезі α -частинки, точніше, при утворенні двох необхідних для цього ядер дейтерію, виділяються два нейтрино. Таким чином, Сонце випромінює приблизно в 7 мільйонів разів більше фотонів, ніж нейтрино.

Земляни відправили сигнал до кульового скупчення М13, що має вік 13 млрд років. У яких зірок і на яких відстанях від них там можливе існування планет з такими ж температурними умовами, що і на Землі?

30. Оцініть У червоних карликів, які ще не зійшли з головної послідовності, маси не більше $0,7$ мас Сонця, світність не більше $0,25$ світностей Сонця, відстані до зорі не більше $0,5 \text{ а.о.}$

Фрідман О. О.

Олександр Олександрович Фрідман народився $17.06.1888$ р. в Петербурзі в сім'ї музикантів. Він з дитинства захоплювався математикою. Вчителем математики в Петербурзькому університеті у Фрідмана був академік Володимир Андрійович Стеклов. В 1906 р. опублікував свою першу статтю. Крім математики О. О. Фрідман цікавився метеорологією. Коли почалася Перша світова війна (1914 р.) пішов добровольцем на фронт. Служив в авіаційних частинах Північного і Західного фронтів. З 1920 р. Фрідман став співробітником Головної геофізичної обсерваторії, а в 1925 р. став її директором.

В липні 1925 р. здійснив разом із П. Ф. Федосєєнко підйом на висоту 7400 м на повітряній кулі і провів дослідження на цій висоті. Під час підйому кулі сталося нещастя на висоті 6000 м, повітроплавці вирішили, що виникла пожежа, а потім зрозуміли: лопнув „сундук” із киснем, а „дим” – це сконденсована волога. Пізніше Фрідман писав: „...самовідданий тов. Федосєєнко погрозами змушував мене „харчуватися” киснем, і я думаю, що цим його погрозам я в значній мірі зобов'язаний своїм життям”.

16.09.1925 р. Олександр Олександрович помер у Ленінграді від брюшного тифу, яким він заразився при поверненні з Криму. Фрідман помер, не дочекавшись ані визнання астрономів – космологів, ані народження свого сина, у віці 37 років.

Французький вчений Анрі Пуанкаре одного разу сказав : „Неможливо спостерігати картину зоряного Всесвіту, не задаючи собі питання , як вона створювалась”.

В кожную історичну епоху люди прагнули скласти певні уявлення про структуру і еволюцію Всесвіту, тобто побудувати певну космологічну модель виходячи із загальної сукупності знань про природу, накопичених зусиллями попередніх поколінь.

Ще в 1900 р. К. Шварцшильд висунув припущення про те, що Всесвіт, як і поверхня кулі, замкнена. Але це було лише припущення. Потрібна була теорія, математичні співвідношення, за допомогою яких можна було б оцінити, як змінюється відстань між галактиками на протязі часу, як вони будуть змінюватися в далекому майбутньому. Першою такою працею була опублікована в 1917 р. стаття А. Ейнштейна „Питання космології і загальної теорії відносності”.

Однак А. Ейнштейн виходив із припущення, що густина і тиск в кожній точці простору Всесвіту не змінюється в часі (Всесвіт статичний). А рівняння загальної теорії відносності були ніби несумісні з цими припущеннями. І Ейнштейн припустив, що сформульовані ним раніше рівняння слід доповнити «космологічним членом» Λ . Так він отримав замкнений Всесвіт, в якому світовий промінь повертається до вихідної точки за час ≈ 70 млрд. років; в цьому замкнутому світі нараховувалося б приблизно 1000 млрд. галактик.

Через два місяці після публікації А. Ейнштейна виходить стаття Віллема де Сіттера. Формально вона містила опис „пустого” Всесвіту, тобто випадок, коли густина і тиск рівні нулеві.

В 1922 р. публікують статтю О. О. Фрідмана „Про кривину простору”, в 1923 р. в праці „Світ як простір і час” він першим піднімає проблему походження світу і „віку” нестационарного

Всесвіту, через рік О. О. Фрідман публікує статтю «Про можливість світу зі сталою від'ємною кривиною». Так почалося дослідження *нестационарних* моделей Всесвіту.

А. Ейнштейн спочатку не повірив результатам, отриманими Фрідманом, але пізніше визнав свою помилку. В 1931 р., коли теорія динамічного Всесвіту получила широке визнання, він сказав: „Першим на цей шлях став Фрідман...”.

О.О.Фрідман (рис. 44) відмовився від припущення про статичність Всесвіту. Він отримав розв'язок, що описує зміну з часом відстані між двома вибраними матеріальними частинками. Як виявилось, властивості моделі визначаються значенням середньої густини ρ .



Рис. 44. О. О. Фрідман

Якщо воно більше деякого критичного значення

$$\rho_{\text{кр}} = \frac{3H^2}{8\pi G}$$

то, досягнувши найбільшого віддалення, галактики почнуть наближатися. При $\rho < \rho_{\text{кр}}$, розширення світу галактик продовжу-

ється необмежено. Всі моделі, у яких має місце зміна в часі відстаней між двома довільно взятими матеріальними точками, називаються *фрідмановськими*, хоч кожна з них має ще й іншу конкретну назву (рис. 45).

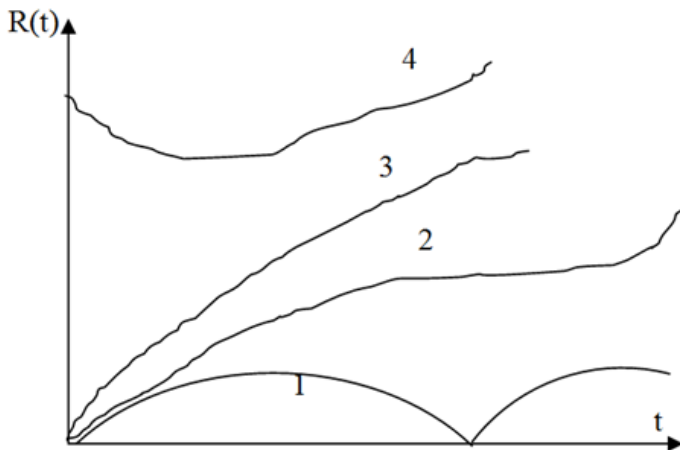


Рис. 45: 1 – пульсуюча модель; 2 – модель Леметра;
3 – модель Ейнштейна – де Сіттера; 4 – модель Еддінгтона –
Леметра

Ще до відкриття Е. Габблом явища розлітання галактик, бельгійський фізик абат Жорж Леметр (1927 р.), не знаючи про праці Фрідмана, на основі загальної теорії відносності побудував і вивчив космологічну модель нестационарного типу.

За О. О. Фрідманом є два типа Всесвіту:

„1) стаціонарний – кривина простору з часом не змінюється;
2) нестационарний – кривина простору змінюється протягом часу.”

Нестационарний тип дає більшу різноманітність випадків: 1) радіус кривини світу, починаючи з деякого значення, постійно збільшується протягом часу; 2) радіус кривини змінюється періодично: Всесвіт стискається в точку (в ніщо), потім, знову з точки, збільшує радіус свій до деякого значення, далі знову, зменшує радіус своєї кривини, перетворюється в точку ...

Модель стаціонарного Всесвіту Ейнштейна, як показав

Фрідман, була лише частинним випадком розв'язку світових рівнянь загальної теорії відносності. Фрідман вважав, що зі сталості кривини Всесвіту ні в якій мірі не впливає, що наш Всесвіт скінчений.

Після відкриття реліктового випромінювання теорія нестационарного Всесвіту Фрідмана – Леметра отримала всесвітнє визнання [4].

Астрономічний словник

Астеризм. Конфігурація зірок, якій присвоїли деяке ім'я (наприклад. Великий Кіш) і яка не є жодним з 88 відомих сузір'їв.

Астероїд (asteroid). Одне з безлічі дрібних кам'янистих і / або металевих небесних тіл, що обертаються навколо Сонця.

Білий карлик (white dwarf). Маленький щільний небесний об'єкт, що світиться за рахунок запасів тепла і тому поступово згасає; останній етап життя сонцеподібної зорі.

Галактика (galaxy). Гігантська система з мільярдів зірок, іноді містить величезні маси газу і пилу.

Екліптика (ecliptic). Відомий шлях Сонця по небу на тлі сузір'їв.

Ефект Доплера (Doppler effect). Зміна сприйманої частоти або довжини світлової або звукової хвилі через рухи її джерела по відношенню до спостерігача.

Зеніт (zenith). Точка на небі, що знаходиться прямо над спостерігачем.

Зоря (star). Велика маса гарячого газу, в якій йдуть ядерні реакції; утримується разом завдяки власній гравітації.

Змінна зоря (variable star). Зоря, блиск якої помітно змінюється.

Зоряне скупчення (star cluster). Група зірок, яких утримує разом взаємне гравітаційне тяжіння; вони сформувалися практично одночасно (бувають кулясті скупчення, globular cluster, і відкриті скупчення, open cluster).

Квазар (quasar). Невеликий надзвичайно яскравий об'єкт, що знаходиться в центрі далекої галактики. Вважається, що він

є потужним випромінюванням енергії в околиці гігантської чорної діри.

Комета (comet). Одне з безлічі невеликих небесних тіл, що складаються з льоду і пилу і рухається по орбіті навколо Сонця.

Кратер (crater). Круглий котлован на поверхні планети, супутника або астероїда, що з'явився від удару космічного тіла або виверження вулкана.

Червоне зміщення (redshift). Збільшення довжини хвилі світла або звуку, часто пояснюване ефектом Допплера.

Червоний гігант (red giant). Велика дуже яскрава зоря з низькою температурою поверхні; один з останніх етапів життя сонцеподібної зорі.

Метеор (meteor). Спалах світла, викликаний падінням метеорного тіла через атмосферу Землі; цей термін часто неправильно використовують для позначення самого метеорного тіла.

Метеорит (meteorite). Метеорне тіло, що впало на поверхню Землі (а не згоріло в атмосфері).

Метеорні тіло (meteoroid). Дрібний твердий космічний об'єкт, що складається з кам'яних порід і / або металу; ймовірно, є уламок астероїда або комети.

Наднова (supernova). Колосальний вибух, який призводить до руйнування всієї зорі; в результаті якого може утворитися чорна діра або нейтронна зоря.

Нейтронна зоря (neutron star). Об'єкт, діаметр якого становить всього десятки кілометрів, але маса якого більше сонячної (всі пульсари - нейтронні зорі, але не всі нейтронні зорі - пульсари).

Оптична подвійна зоря (double star). Дві зорі, які здаються дуже близькими одна до одної на небі; іноді вони дійсно пов'язані (в разі фізичної подвійної зорі), а іноді ніяк не пов'язані і перебувають на різних відстанях від Землі.

Орбіта (orbit). Траєкторія руху небесного тіла або космічного апарату.

Планета (planet). Великий круглий об'єкт, що сформувався

у плоскій хмарі навколо зорі, який, на відміну від зорі, не генерує енергію в процесі ядерних реакцій.

Планетарна туманність (planetary nebula). Світна хмара газу, що розширюється, викинута вмираючою сонцеподібною зорею.

Покриття (occultation). Явище, що спостерігається при проходженні одного небесного тіла перед іншим, коли перше закриває друге від спостерігача. Пульсар (pulsar). Нейтронна зоря з високою намагніченістю, яка швидко обертається і випромінює пучки енергії (це можуть бути радіохвилі, рентгенівські промені, гамма-промені і / або видиме світло).

Темна матерія (dark matter). Невідома субстанція в космосі, присутність якої можна знайти за її гравітаційним впливом на небесні об'єкти.

Термінатор (terminator). Лінія, що розділяє освітлену і неосвітлену частини поверхні небесного тіла, яке світиться відбитим світлом Сонця, тобто планети, супутника або астероїда.

Транзит (transit). Рух дрібнішого небесного об'єкта, наприклад Меркурія, перед більшим об'єктом, наприклад Сонцем.

Туманність (nebula). Газо-пилова хмара в космосі, яка може випромінювати, відображати і / або поглинати світло.

Фізична подвійна зоря (binary star). Дві зорі, що обертаються навколо загального центру мас; для цього поняття використовується також термін подвійна система.

Чорна діра (black hole). Об'єкт, гравітація якого настільки сильна, що ніщо не може вирватися з нього, навіть промінь світла.

Гра-подорож „Мандрівка Сонячною системою”

Правила гри. Виготовляється ігрове поле з ілюстраціями, які зображають різні планети та супутники або події, пов'язані з історією астрономії та фізики або портрети учених-астрономів. Учасники гри поспішають до фінішу. На шляху вони зустрічають багато перешкод у вигляді питань або малюнків, зміст яких треба пояснити. Ігрове поле кріпиться до дошки. У ролі фішок використовуються різнокольорові магніти. Гра організовується у вигляді змагання між командами. Представники команд по черзі кидають кубики і пересувають фішку відповідно до кількості номерів на кубіку. Якщо фішка потрапила на зелений квадрат, команда (чи група учнів) повинна скласти відповідь за зображенням на малюнку (у даній грі розповісти про планету, поблизу якої зупинилася фішка). Якщо учень не зміг упоратися із завданням, його фішка залишається на місці, якщо ж позитивно вирішив його, то рухається вперед (кількість номерів + три квадрата). Якщо фішка потрапляє на червоний квадрат, учень повинен дати відповіді на два додаткові запитання, що стосуються історії космонавтики України. Коли фішка потрапляє на жовтий квадрат, то, правильно відповівши на поставлене запитання, учень залишається на ньому, якщо він відповідає неправильно він повертається на декілька кроків назад. В разі, коли фішка потрапляє на синій квадратик, то, правильно відповівши на запитання, учень переміщується на декілька квадратів вперед, якщо відповідає неправильно залишається на місці. У підсумку перемагає той учасник (або та команда), чия фішка швидше дістанеться до квадрата №73 (рис. 46). До цієї гри доцільно запропонувати такі запитання. **1.** Фаза, коли обернений бік Місяця до Землі не освітлений. **7** (синій квадрат). Кратер на Місяці, названий на честь ученого-астронома, який був учителем Йоганна Кеплера. **8.** Радянський авіаконструктор, під його керівництвом створено понад 100 типів військових і цивільних літаків, зокрема АНТ-125, Ру-104 (перший реактивний пасажирський), Ту-144 (надзвуковий пасажирський). (Туполєв.)

11. Один із перших військових льотчиків, зробив перший політ на планері над Україною в 1909 р. (Єфімов.) **12** (жовтий квадрат). Людина, яка зробила перший крок по поверхні Місяця. **15.** Лінія, що розділяє освітлену й неосвітлену Сонцем частину диска Місяця. **22** (зелений квадрат). Розповіді про зображену планету. **25.** Природний супутник, нашої планети, єдине значне за розмірами небесне тіло, що обертається навколо Землі. **28.** Планета, яка рухається найближчою орбітою до Сонця. **32.** Величезна система, яка складається з мільйонів і мільйонів зірок. Додаткові запитання: Космонавт, уродженець Александрії (Кіровоградська область). Перший космонавт в історії незалежної України. **37.** Великі круглі западини, діаметр яких може бути до 500 км, на поверхні Місяця. **42.** „Володар їжі, батько та мати людей”. Про кого так казали єгиптяни? Додаткові запитання: Уродженець Харкова, зробив значний внесок у розвиток вітчизняного літакобудування (1909-1921 р. р.), батько відомого льотчика. Побудував 4 літаки з двигунами власної конструкції. (Гризодубов.) Льотчик, основоположник вищого пілотажу, штабс-капітан. Першим ввів крепи на віражі, виконав 27 серпня 1913 р. „мертву петлю”. Загинув у повітряному бою 26 серпня 1914 р. в районі р. Жалква, вперше застосувавши таран. (Нестеров.) **45.** Офіцер-підводник, професійний інженер, талановитий конструктор, був одним з вітчизняних основоположників авіаційної інженерії. У 1909 р. розробив проекти гідролітака-розвідника. (Мацієвич.) **46** (червоний квадрат). Мала планета Сонячної системи. **52.** У 1911 р. побудував у Києві цивільний дирижабль м'якої конструкції. Об'єм 850 м³. На цьому дирижаблі конструктор зробив 160 польотів, перевіз ≈200 пасажирів. (Андерс.) **58** (жовтий квадрат). Метеор, який дістався поверхні Землі. **61** (зелений квадрат). Розповіді про зображену планету. **64.** Давньогрецький учений, вважав, що Земля є центральним небесним тілом Сонячної системи, а всі інші небесні тіла рухаються навколо неї. **70.** Як називається найвища гора Сонячної системи і на якій планеті вона знаходиться? **73.** Радянський авіаконструктор, під його керівництвом створений ряд літаків, зокрема, турбогвинтові Ан-10,

АН-22 („Антей”), АН-124 („Руслан”). (Антонов.)

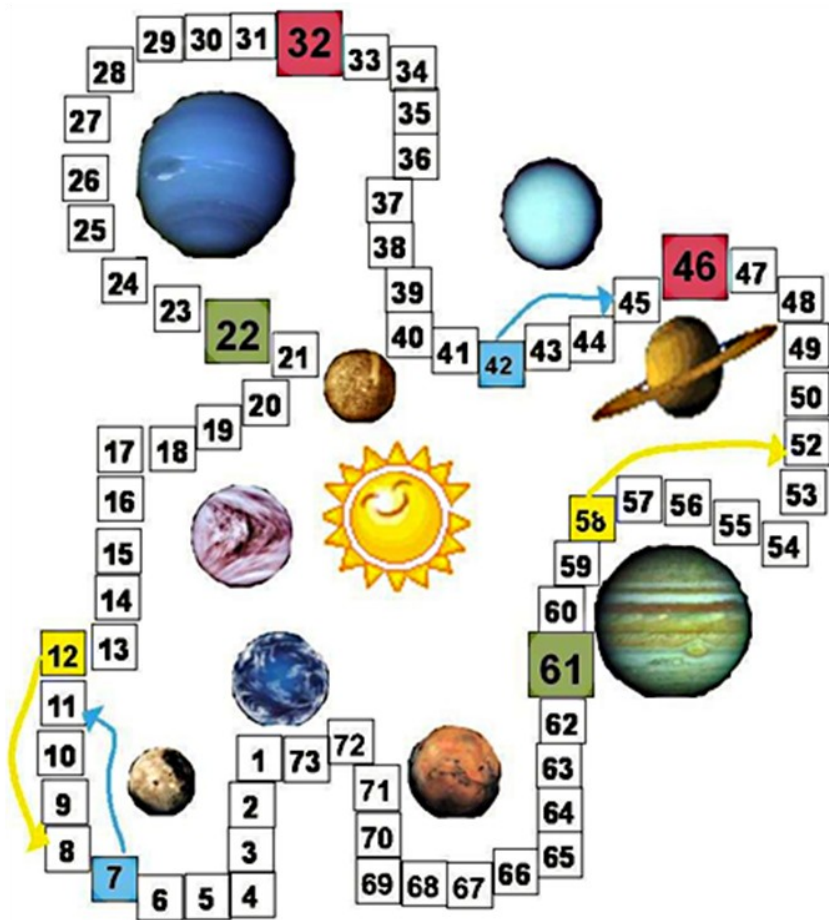


Рис. 46. Карта-маршрут подорожі.

Основні фізичні і астрономічні сталі

Гравітаційна стала $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^{-2}$

Швидкість світла у вакуумі $c = 2,998 \cdot 10^8 \text{ м/с}$

Стала Планка $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$

Стала Больцмана $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{К}^{-1}$

Універсальна газова стала $R = 8,31 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{К}^{-1} \cdot \text{моль}^{-1}$

Стала Стефана-Больцмана $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ кг} \cdot \text{с}^{-3} \cdot \text{К}^{-4}$

Маса протона $m_p = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$

Маса електрона $m_e = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$

Енергія іонізації атома водорода $E_H = 13,6 \text{ еВ} = 2,18 \cdot 10^{-18} \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-2}$

Астрономічна одиниця $1 \text{ а.о.} = 1,496 \cdot 10^{11} \text{ м}$

Парсек $1 \text{ пк} = 206265 \text{ а.о.} = 3,086 \cdot 10^{16} \text{ м}$

Дані про Сонце

Радіус 695000 км

Маса $1,989 \cdot 10^{30} \text{ кг}$

Середня густина $1,41 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$

Прискорення сили тяжіння на поверхні $2749,807 \text{ м} \cdot \text{с}^{-2}$

Друга космічна швидкість на поверхні $617,7 \text{ км/с}$

Світність $3,88 \cdot 10^{26} \text{ Вт}$

Спектральний клас G2V

Сидеричний період обертання головного меридіана $25,38 \text{ доби}$

Середній синодичний період обертання головного меридіана $27,275 \text{ доби}$

Видима зоряна величина $-26,8^m$

Абсолютна візуальна зоряна величина $+4,82^m$

Абсолютна болометрична зоряна величина $+4,74^m$

Показник кольору (B–V) $+0,67^m$

Температура поверхні приблизно 6000 К

Середній горизонтальний паралакс $8,794''$

Дані про Землю

Найменша відстань до Сонця $0,983 \text{ а.о. або } 147,1 \text{ млн. км}$

Найбільша відстань до Сонця $1,017 \text{ а.о. або } 152,1 \text{ млн. км}$

Середня швидкість руху по орбіті $29,79 \text{ км/с}$

Ексцентриситет орбіти $0,017$

Тропічний рік $365,24219 \text{ діб}$

Сидеричний рік 365.25636 діб

Період обертання 23 години 56 хвилин 04 секунди

Екваторіальний радіус 6378.14 км

Полярний радіус 6356.77 км

Маса $5,974 \cdot 10^{24}$ кг

Середня густина 5,52 г/см³

Друга космічна швидкість на поверхні 11,19 км/с

ЛІТЕРАТУРА

1. Антикуз О. В. Усі уроки астрономії. 11 клас. / О. В. Антикуз. – Х.: Вид. група «Основа», 2012. – 480 с.
2. Бузько В. Л. Моделювання під час вивчення астрономії як засіб формування пізнавальної активності учнів: від природознавства до астрономії / В. Л. Бузько // Міжнар. наук. конф. «Астрономічна школа молодих вчених», Київ – Кіровоград, 29-31 трав. 2014. – Кіровоград, 2014. – С. 11-12.
3. Бузько В. Л. Пропедевтика фізичних знань у початковій школі та під час вивчення природознавства як засіб формування пізнавального інтересу учнів до фізики / В. Л. Бузько. — Наукові записки Малої академії наук : (збірник наукових праць). К. : ТОВ «СІТПРІНТ». — 2013. — 520 с. — (Серія : Педагогічні науки, вип. 3). С. 113-120.
4. Бузько В. Л. Творець теорії нестационарного Всесвіту / В. Л. Бузько // Освітнянське слово, №10, 2005
5. Вербінська Г. М. Уроки астрономії: навчально-методичний посібник / Г. М. Вербінська. – К.: Шк. Світ, 2010. – 128 с.
6. Воронцов-Вельяминов Б. А. Сборник задач и практических упражнений по астрономии. / Б. А. Воронцов-Вельяминов. – М.: Наука, 1977. – 272 с.
7. Гончар О. Збірник завдань з астрономії для поточного опитування, самостійних і контрольних робіт та тематичного оцінювання знань. 11 клас. /О. Гончар. – Тернопіль: Підручники і посібники, 2003. – 64 с.
8. Гусев Е. Б. Сборник вопросов и качественных задач по астрономии : Кн. для учащихся / Е. Б. Гусев. – М.: Просвещение, 2002. – 173 с.
9. Дагаев М. М. Сборник задач по астрономии: Учеб. пособие для студентов физ.-мат. фак. пед. ин-тов. / М. М. Дагаев. – М.: Просвещение, 1980. – 128 с.
10. Дубас З. В. Дидактичний матеріал для тематичного оцінювання навчальних досягнень учнів з астрономії. /З. В. Дубас.— Тернопіль: Астон, 2001. – 32 с.
11. II та III етапи Всеукраїнської учнівської олімпіади з астрономії у 2013-2014 навчальному році: інформаційно-

аналітичний бюлетень / Упор. В. М. Карпуша. – Суми: РВВ СОШПО, 2014. – 78 с.

12. Казанцев А. М. Збірник завдань для державної підсумкової атестації з астрономії : 11 кл. / А. М. Казанцев, І. П. Крячко. – К. : Центр навч.-метод. л-ри, 2014. – 29 с

13. Кирик Л. А. Астрономія. Різномірні самостійні роботи за 12-бальною системою з прикладами розв'язування задач. / Л. А. Кирик, К. П. Бондаренко. – Харків: «Гімназія», 2002. – 64 с.

14. Климишин І. А. Астрономія: підр. для 11 класу. / І. А. Климишин, І. П. Крячко. –К.: Знання України, 2002. – 192 с.

15. Кузьменков С. Г. Зорі: Астрофізичні задачі з розв'язаннями: навч. посіб. / С. Г. Кузьменков. – К.: Освіта України, 2010. – 206 с.

16. Левитан Е. П. Методика преподавания астрономии в средней школе./Е. П. Левитан. – М.: Просвещение. – 1965. – 227 с.

17. Левитан Е. Астрономия в занимательных задачах. / Е. Левитан, Н. Мамуна, М. Шевченко. //«Наука и жизнь» № 6, 1984.

18. Малахова Г. И. Дидактический материал по астрономии: Пособие для учителей. / Г. И. Малахова, Е. К. Мтраут. – М., Просвещение, 1979. – 96 с.

19. Набоков М. Е. Методика преподавания астрономии в средней школе. / М. Е. Набоков. – М., 1947. – 194 с.

20. Новак О. Р. Збірник задач і запитань з астрономії для загальноосвітніх навчальних закладів: навч. посіб. /О. Ф. Новак. – 2-ге вид., доповн. – Тернопіль: Навчальна книга – Богдан, 2013. – 304 с.

21. Пришляк М. П.. Астрономія 11 кл.:підр. для загал. навч. закл.: рівень стандарту, академ р-нь/ за заг. ред. Я. С.Яцківа. – Х.:Вид-во «Ранок», 2011. –160 с.

22. Пришляк М. П. Астрономія, 11 клас. Конспекти уроків / М. П. Пришляк, Ю. В. Александров, А. М. Грецкий. – Х.: «Ранок», 2013. – 288 с.

23. Романов А. М. Занимательные вопросы по астрономии и не только. /А. М. Романов. – М.: МЦНМО, 2005. - 415 с.
24. Сикорук Л. Л. Телескопы для любителей астрономии. – М.: Наука, 1989. – 368 с.
25. Сурдин В. Г. Астрономические олимпиады с решениями. / В. Г. Сурдин. – М., 1995. – 320 с.
26. Тататников А. М. Астрономия. Сборник задач и упражнений. 10-11 класс : учеб. пособие для общеобразоват. Организаций /А. М. Татарников, О. С. Угольников, Е. Н. Фадеев. – 2-е изд. – М. : Просвещение, 2018. – 160 с.
27. Ткаченко І. А. Методика навчання астрономії. Уроки з астрономії. – Навчально-методичний посібник / Ткаченко І. А., Ткачук А. В. – Умань: ПП Жовтий О.О., 2014. – 163 с.
28. Угольников О. С. Астрономия. Задачник. 10-11 классы : учеб. пособие для общеобразоват. организаций : базовый уровень / О. С. Угольников. – М. : Просвещение, 2018. – 79 с.
29. Фесенко Б. И. Астрономический калейдоскоп: вопросы и ответы: Кн. для учащихся. /Б. И. Фесенко. – М. Просвещение, 1992. – 95 с.

ВІДПОВІДІ

4.11 Історично сузір'я виникло як певна конфігурація зірок, зараз це певна ділянка небесної сфери. У 1922 р. все небо було розділене на 88 сузір'їв, з них 31 знаходиться в північній півсфері, 48 - в південній, а останні 9 розташовані по обидві сторони небесного екватора. Поняття сузір'я вельми зручно для швидкого орієнтування на зоряному небі.

4.12 Сиріус є однією з найближчих зірок, тому вид зоряного неба з його околиць буде практично таким же, як і від Сонця. Сонце буде видиме в діаметрально протилежній точці небесної сфери в сузір'ї Геркулеса $\alpha=18^{\text{h}}43^{\text{m}}$, $\delta=+16^{\circ}39'$.

4.13. Світність зірок залежать від маси. Чим менше маса зорі, тим нижче вона виявляється на головній послідовності.

4.14. В принципі будь-яка зоря випромінює в інфрачервоній області, але в астрономії під інфрачервоними зорями розуміють зорі, що дають основну частину своєї енергії в діапазоні 0,74-2 мкм. Більшість з виявлених інфрачервоних зірок відноситься до довгоперіодичних змінних зірок з температурами 1500-3000 К. Однак деякі з них випромінюють в далекій інфрачервоній області ($\lambda > 4$ мкм). Припускають, що таке випромінювання створює газопилова оболонка, що оточує зорю.

4.15. Об'єкти масою, меншою чим 0,08 від маси Сонця, - це зорі, що не відбулися, коричневі карлики. Через низьку температуру в них не можуть початися термоядерні реакції. Під дією сил тяжіння вони поволі стискуються і за рахунок цього випромінюють в інфрачервоній області. За коричневого карлика може вважатися планета Юпітер, оскільки вона випромінює енергії більше, ніж отримує від Сонця.

4.16. Це так звані зорі типу R Північної Корони. У цих змінних зорях час від часу блиск поволі слабшає на 1-9 зоряних величин, після чого поступово повертається до первинного значення. Передбачається, що блиск цих зірок, які мають у порівнянні з Сонцем надлишок вуглецю, ослабляється частинками вуглецю, що утворюються у викинутій зорею хмарі.

4.17. В атмосферах гігантів пізніх спектральних класів виявлена гаряча водяна пара.

4.18. У візуальній області спектру зміни блиску Міри Кита відбуваються не лише унаслідок коливань температури і розмірів зорі, але і за рахунок зміни інтенсивності потужних смуг окису

титану. На болометричні і інфрачервоні зоряні величини вплив смуг окису титану незначний.

4.19. Новими можуть ставати зорі - білі карлики, що входять в систему тісної подвійної зорі. Від головної зорі на поверхню білого карлика перетікає водень. Коли його стає багато (0,001 від маси Сонця), то починається термоядерний вибух на поверхні зорі. Із Землі вибух реєструється як спалах нової зорі.

4.20. У припущенні подібності механізму спалаху у нових і повторно-нових зірок нові повинні спалахувати з інтервалом у декілька тисячоліть.

4.21. Довгоперіодична змінна зоря типу Міри Кита – χ Лебедя має найбільшу амплітуду блиску у візуальній області – 11 зоряних величин. У максимумі її блиск досягає $3,3^m$, а в мінімумі падає майже до 14^m .

4.22. Полярна зоря є змінною зорею-цефеїдою, блиск якої змінюється з періодом близько 4 діб і амплітудою менше 0,1 зоряної величини. Полярну зорю видно всю ніч впродовж усього року у всій північній півкулі Землі, де проживає велика частина населення планети. Блиск Полярної зорі 2^m . Останніми роками її амплітуда ще більше зменшилася. Можливо, зоря виходить із смуги нестабільності на діаграмі „Спектр-світність” і перетворюється на звичайний гігант.

4.23. $\approx 0,1 \text{ кг/м}^3$.

4.24. Густина першої зорі у 8 разів менше; температури однакові.

4.25. $R \sim T^{-2}$.

4.45. Така форма відповідає мінімуму потенційної енергії.

4.46. Еквіпотенціальна поверхня ($\varphi = GM/r = \text{const}$) навколо одиночної зорі має сферичну форму. У тісній подвійній системі поверхня рівного гравітаційного потенціалу близька до форми еліпсоїда. На великій відстані від подвійної зорі еквіпотенціальна поверхня знов набуває сферичної форми.

4.47. Зорі на відміну від планет, які світять відбитим від зорі світлом, – масивні розжарені газові (плазмові) тіла випромінюють власне світло. У надрах більшості зірок протікають термоядерні реакції; у планетах такі реакції не йдуть. Гранична маса дорівнює приблизно 0,02 від маси Сонця або приблизно 20 масам планети Юпітер. Маючи таку масу, об'єкт вже може вважатися за зорю, в його надрах, хоча і з малою швидкістю, водень перетворюється на гелій.

4.48. У планетах. При нижчій температурі можливе утворення численних різновидів молекул, а також кристалічних структур.

4.49. Холодних. Гарячі зорі складаються з іонів, електронів і атомів, у холодних зорях відбувається також і утворення молекул. Ускладнення структури речовини при пониженні температури зорі демонструють зоряні спектри. У спектрах холодних зірок видно численні молекулярні смуги.

4.50. Нестационарний фізичний стан спостерігається у змінних і нестационарних зірок.

4.51. У зорі, яка не обертається.

4.52. Процеси, пов'язані з народженням зірок такі, як конденсація пилу, стискування, проявляють себе в інфрачервоній області і радіодіапазоні. Зорі, що знаходяться на пізніх стадіях еволюції, – нейтронні зорі, чорні дірки – випромінюють в рентгенівській області спектру.

4.53. Причиною утворення безперервного спектру є переважно вільно-зв'язані переходи, тобто рекомбінація електронів на відповідні енергетичні рівні. Оскільки швидкості електронів можуть бути довільними, то частота випромінюваних квантів виявляється різною. Оптично щільний газ, яким є фотосфера зорі, дає яскраве безперервне випромінювання, на тлі якого видно темні лінії, що виникають при зв'язано-зв'язаних переходах в холоднішому газі.

4.54. У Сонця Основним джерелом непрозорості у Сонця є негативні іони водню, що знаходяться у фотосфері, які для всіх довжин хвиль майже однаково послаблюють випромінювання, що йде з надр зорі. У Веги основним джерелом ослаблення світла в атмосфері є нейтральний водень, вплив якого вибірковий.

4.55. М, G, A, B, O.

4.56. Для зірок головної послідовності.

4.57. Червоний гігант.

4.58. Червоний карлик (не дуже масивна зоря головної послідовності).

4.59. $\approx 3,4$.

4.60. $c/8 \approx 37500$ км/с.

4.66. Випромінювання гарячої центральної зорі переробляється газом туманності і перевипромінюється в оптичному діапазоні довжин хвиль.

4.67. У розсіяних.

4.68. Розсіяних – і в одному і в іншому.

4.69. Кульових скупчень мало, і всі вони знаходяться істотно далі.

4.70. $\approx 1^\circ$.

4.71. Найстаріші зірки в Галактиці займають простір приблизно такий, який займала протогалактична хмара. Газ, що залишився, стискувався до центру і в результаті зіткнень частинок, його утворюючих, втрачав енергію. Нові підсистеми мали менший розмір. Стискуванню в галактичній площині заважали відцентрові сили, а по осі обертання стискуванню газу ніщо не заважало. В результаті в площині Галактики виник тонкий газовий диск, що обертався, в якому і утворюються наймолодші зоряні об'єкти Галактики.

4.72. Найстаріші зорі утворилися з бідного важкими елементами протогалактичної газової хмари. Масивні зорі швидко еволюціонуючи, вибухали і збагачували газ протогалактики важкими елементами, що утворилися в них. Пізні покоління зірок утворилися з речовин з великим вмістом металів.

4.73. Відповідно третьому закону Кеплера найбільш віддалені від центру Галактики зорі мають і більший період обертання. Тому спіральний узор Галактики повинен руйнуватися, по оцінках, за час приблизно одного оберту. В даний час існує теорія, що пояснює збереження спірального узору при обертанні Галактики. Спіральні гілки – це місця утворення молодих гарячих зірок в областях ущільнення речовини, які відповідають фронту хвилі, що підійшов. Таким чином, фронт хвилі переміщається як єдине ціле, а зорі, покидаючи гілку, зменшують інтенсивність випромінювання.

4.74. Під обертанням Галактики розуміють рух спіральних рукавів, які мають однакову кутову швидкість на різних відстанях від ядра.

4.75. 1,5 Мпк.

4.76. 35 пк.

4.77. 37 пк; $-9,2^m$.

4.78. У еліптичних галактиках практично немає пилової і газової складової і молодих зірок.

4.79. ≈ 190 км/с.

4.83. Активність галактик виявляється в закінченні газу або сильному радіовипромінюванні ядра. Маса виверженого газу складає біля однієї сонячної маси в рік. У минулому активних галактик було набагато більше. По одній з гіпотез, квазарами є

галактики з великою активністю, що знаходяться на космологічних відстанях.

4.84. Перший відкритий квазар 3С 273 виявився і найближчим з усіх. Він знаходиться на відстані в мільярд світлових років. Його червоне зміщення $z=0,16$. Цей квазар, можливо, є чорною дірою масою 2,5 млрд. мас Сонця, яка щорічно поглинає із зовнішнього середовища речовину масою 25 мас Сонця.

4.90. 1-2 св. доби, тобто 25-50 млрд км (або 170-350 а.о.).

5.1. Шлях s , який проходить тіло при вільному падінні, дорівнює $0,5gt^2$, де t - час падіння, а g - прискорення вільного падіння. На Марсі $g=GM/R^2=3,7\text{м/с}^2$, тому $s=0,5\cdot3,7\cdot3^2\text{ м}=16,6\text{ м}$. Шнура не вистачить.

5.9. Членам експедиції слід перекоонатися в тому, що атмосфера планети стабільна, тобто що вона не випарується через невеликий проміжок часу. Для її тривалого існування необхідно, щоб середня теплова швидкість руху молекул була в кілька разів менше за другу космічну швидкість для планети ($v_T < 0,2v_{II}$). Знаючи час коливання маятника, визначаємо прискорення вільного падіння на планеті $g=1,58\text{м/с}^2$, потім знаходимо масу планети: $g=GM/R^2 \Rightarrow m = 2,37\cdot10^{21}\text{ кг}$, – а потім і другу космічну швидкість: $v_{II} = 0,56\text{ км/с}$.

Середня теплова швидкість дорівнює 0,68 км/с, що більше v_{II} , отже, атмосфера планети не стабільна.

5.10. $0,01^m$; $0,0001^m$.

5.11. У результаті гравітаційної взаємодії зірок галактики з часом руйнуються. Зорі поступово залишають галактики, а їх центральні частини стискаються і перетворюються в надмасивні чорні діри. Процес дезінтеграції галактик повинен закінчитися через 10^{19} років. Зорі на той час давно згаснуть.

5.12. Еволюція речовини у Всесвіті має незворотний характер. Доказом цього є існування зірок, в яких відбувається незворотний процес перетворення водню в більш важкі елементи.

5.30. У далекому минулому всі об'єкти Метагалактики, що нині знаходяться далеко один від одного, були розташовані в просторі близько один до одного.

Відповіді до кросвордів

Кросворд №8

1. Космологія. 2. галактика. 3. Діра. 4. Скупчення. 5. Чумацький.
6. Фрідман.

Виділене слово: далекозорість.

Кросворд №9

1. Юліанський. 2. Антропний. 3. Субзоря. 4. Ядро. 5. Плазма.
6. Наяда.

Кросворд №10

1. Метагалактика. 2. Галілей. 3. Адамс. 4. Селена. 5. Бессель (по
горизонталі). 5. Біруні (по вертикалі).

Бузько Вікторія Леонідівна

Дидактичний матеріал
з астрономії.

Навчальний посібник
для загальноосвітніх навчальних закладів

Формат 60x84/16. Друк цифровий
Папір офсетний 80 г/м²
Наклад ____ прим.

**Задачі, самотійні роботи,
контрольні роботи, кросворди,
олімпіадні задачі, інформація для
допитливих**

допомогі

**олімпіадні задачі, інформація для
кросвордів, кросворди,
кросворди, кросворди**