

О. В. Антигуз

Усі уроки АСТРОНОМІЇ 11 клас

Харків
Видавнича група «Основа»
2012

УДК 37.016
ББК 74.262.22
А72

Антикуз О. В.

А72 Усі уроки астрономії. 11 клас.— Х.: Вид. група «Основа», 2012.— 480 с.

ISBN 978-617-00-1081-0.

В посібнику надані методичні рекомендації щодо проведення уроків астрономії за новою програмою 11-річної школи (рівень стандарту 17 годин на рік, академічний та профільний рівні, 35 годин на рік). Книга містить поурочні розробки та методичні рекомендації за всіма темами.

Посібник буде корисним як молодим учителям, так і вчителям зі стажем, а також студентам педагогічних вишів.

**УДК 37.016
ББК 74.262.22**

АНТИКУЗ О. В.

УСІ УРОКИ АСТРОНОМІЇ. 11 КЛАС

**Головний редактор І. Ю. Ненашев,
технічний редактор О. В. Лебедєва, коректор О. М. Журенко**

Підписано до друку 6.02.2012. Формат 60×90/16. Папір газетний.
Гарнітура Шкільна. Друк офсетний. Ум. друк. арк. 30. Зам. № 12-02/10-5

ТОВ «Видавнича група «Основа».

Свідоцтво ДК № 1179 від 27.12.2002 р. Україна, 61001, Харків, вул. Плеханівська, 66.

Тел. (057) 731-96-33. E-mail: office@osnova.com.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 2911 від 25.07.2007 р.

Віддруковано з готових плівок

ПП «Тріада+», Харків, вул. Киргизька, 19. Тел. (057) 757-98-16, 757-98-15

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 1870 від 16.07.2007 р.

ISBN 978-617-00-1081-0

© Антикуз О. В., 2011

© ТОВ «Видавнича група «Основа», 2012

ВІД АВТОРА

Шановні колеги! У викладанні астрономії досить ефективною формою подання нового матеріалу є навчальні презентації, які дозволяють учням уявити небесні тіла, природу яких вони вивчають. Практично для кожного уроку астрономії автором розроблені навчальні презентації, створена добірка різноманітних відеофрагментів, демонстрація яких сприятиме засвоєнню учнями астрономічних понять, явищ тощо. Усі ці матеріали розміщені за адресою: <http://ua.partnersinlearningnetwork.com/communities/2d9d30ae1c454e8bb9a6a72144b62044/Pages/default.aspx>.

Для підключення до Мережі «Партнерство в навчанні» вам необхідно пройти безкоштовну реєстрацію. Нижче надається інструкція щодо підключення до Мережі «Партнерство в навчанні».

1. Можна перейти за посиланням <http://ua.partnersinlearningnetwork.com/communities/2d9d30ae1c454e8bb9a6a72144b62044/Pages/default.aspx>, або в пошуковій системі (<http://yandex.ua/>) набрати *Мережа «Партнерство в навчанні»*. Як правило, перша адреса, яку видасть ця пошукова система, є адресою *мережі*.
2. Після переходу за гіперпосиланням натисніть слово *zareєструватися*.
3. Послідовно заповніть всі поля, відповідаючи на запитання, запропоновані системою
4. Після проходження реєстрації оберіть слово *спільноти*.
5. Для швидкого пошуку спільноти *«Використання ІКТ на уроках фізики та астрономії»* розташуйте всі спільноти за алфавітом (за допомогою кнопки, розташованої справа зверху).
6. Спільноту *«Використання ІКТ на уроках фізики та астрономії»* ви зможете знайти на 2 сторінці.
7. Для того щоб стати учасником спільноти, вам необхідно приєднатися до обраної спільноти.
8. Матеріали з астрономії розташовані в спільних документах.

Якщо у вас виникли проблеми з реєстрацією, на головній сторінці *Мережі* розміщено навчальний відеокурс щодо роботи в *Мережі «Партнерство в навчанні»*.

Урок 1

Тема. Предмет астрономії та його особливості. Завдання астрономії на різних історичних етапах. Галузі астрономії. Зв'язок астрономії з іншими науками. Найвидатніші творці астрономії. Розвиток астрономічної науки в Україні. Астрономічні знання і розвиток цивілізації.

Цілі:

- *навчальна:* зацікавити дітей наукою — астрономією, дати початкове уявлення про давню науку, її зв'язки з іншими науками; коротко розповісти історію астрономії, повідомити про внесок відомих вчених-астрономів у її розвиток; ознайомити учнів з розділами астрономії, методами, інструментами, які використовують вчені для проведення досліджень;
- *розвивальна:* розширити знання учнів про навколишній світ, узагальнити знання, отримані раніше, в єдине ціле й встановити міжпредметні зв'язки;
- *виховна:* з метою формування діалектичного світогляду показати пізнаваність світу, діалектичний шлях пізнання — від живого споглядання до абстрактного мислення і від нього — до практики; розкрити важливість знань про природу небесних тіл, їхній рух і розвиток для практичної діяльності людини.

Нові поняття:

- *Учні повинні знати:* сучасні галузі астрономії, причини, які обумовили й стимулювали зародження й розвиток астрономії
- *Учні повинні вміти:* наводити приклади внеску видатних вчених світу та України в астрономічну науку, використання астрономічних знань в життєдіяльності людини; описувати головні етапи розвитку астрономії; пояснювати зв'язок астрономії з іншими науками та її значення у формуванні світогляду людини, називати способи й інструменти астрономічних досліджень.
- *Міжпредметні зв'язки:* астрономія, небесні тіла (планети, зорі і т. ін.), телескоп, обсерваторія, спостереження, астрометрія, небесна механіка, астрофізика, зоряна астрономія, космогонія, космологія.

Демонстрації:

- 1) Зображення зоряного неба на зоряних картах й атласах.
- 2) Уявлення древніх про будову світу.
- 3) Відеофільм «Найдавніша наука».
- 4) Презентація «Вступ до астрономії»

Технічні засоби навчання, наочне приладдя:

- 1) Мультимедійний проектор, комп'ютер, CD-презентація «Вступ до астрономії».
- 2) Карта зоряного неба, порівняльні розміри Сонця, зір-гігантів і зір-карликів, збільшені фотографії Коперника, Бруно, Галілея, Кеплера та ін. зображення сузір'їв на давніх картах зоряного неба, атлас «А-11» — с. 4–7.

Обладнання:

- 1) Комп'ютер.
- 2) Мультимедійний проектор, екран.
- 3) Презентація «Вступ до астрономії», «Віртуальний музей Всесвіту».
- 4) Відеофільм «Найдавніша наука».

План заняття

Час	Метод навчання	Зміст роботи	Наочне приладдя, ТЗН
5 хв	Бесіда	Організаційний момент Ознайомлення з цілями і задачами курсу астрономії, з вимогами до уроку астрономії: кількість зошитів, рефератів, видів контролю; підручником і додатковою літературою	
25 хв	Лекція	Пояснення нового матеріалу	Презентація «Вступ до астрономії»
7 хв	Перегляд в/ф	Закріплення нового матеріалу Перегляд відеофрагмента «Найдавніша наука», робота з підручником	
6 хв		Перевірка знань учнів Робота з тестами	
2 хв		Домашнє завдання Читати § 1, 2*	

ХІД УРОКУ

I. ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ МОМЕНТ

Проведення нестандартного першого уроку астрономії дозволить сформувати в учнів початковий пізнавальний інтерес до цієї науки. Головна мета уроку — розкрити практичне і загальнолюдське значення астрономії і показати учням необхідність освоєння основ астрономічних знань. На початку уроку учням необхідно повідомити про вимоги до підготовки, оголосити теми рефератів (проектних робіт), які заздалегідь розмістити на стендах у фізичному кабінеті.

II. МОТИВАЦІЯ НА ВИВЧЕННЯ НОВОГО ШКІЛЬНОГО ПРЕДМЕТА

Для мотивації учнів на вивчення нового курсу можна запропонувати короткий фрагмент, який супроводжується музикою на космічну тематику та демонструє різні об'єкти Всесвіту.

Вірш Ф. Тютчева заздалегідь написаний на дошці.

*Небесный свод, горящий славой звездной,
Таинственно плывет из глубины,
И мы плывем, пылающею бездной
Со всех сторон окружены.*

Ф. Тютчев

* За підручником: Климшин І. А., Крячко І. П. Астрономія: Підручник для 11 класу загальноосвітніх навчальних закладів. — К.: Знання України, 2003. — 192 с.

III. ПОЯСНЕННЯ НОВОГО МАТЕРІАЛУ

1. Розвиток астрономії як науки

Учитель. З давніх-давен люди цікавилися зоряним небом і тим, що на ньому відбувається. Чергування дня і ночі, рух Сонця по небу, неймовірна краса зоряної ночі, загадкова зміна форми Місяця — усі ці і багато інших небесних явищ спонукали спостерігачів до міркувань.

Щоб вижити у важкій боротьбі з навколишньою природою, давнім людям необхідні були певні знання. Кочовим племенам, щоб не загубитися зі своїми чередами в неосяжних степах, необхідно було орієнтуватися в просторі. Те саме можна сказати і про жителів островів і прибережних земель, яким, перш ніж вийти в плавання, доводилося з'ясовувати, як знайти дорогу назад додому.

З ритмічною зміною часу року пов'язаний весь річний цикл життя землеробських народів. Для них було украй важливим орієнтуватися в часі. Особливо це стосувалося народів, що заселяли річкові долини Месопотамії, Єгипту, Китаю. Тут від правильного передбачення, коли ж почнеться розлив рік, залежало життя багатьох тисяч людей у буквальному значенні цього слова.

Єгипетські жерці навчилися зіставляти початок розливу Нілу з виглядом зоряного неба. Уже за 4000 років до н. е. вони встановили, що безпосередньо перед цим на зоряному небі після приблизно 70-денного періоду невидимості уперше сходить зоря Сиріус (Сотіс). Як їм здавалося, обидва ці явища повторюються через кожні 360 днів. Цей проміжок часу і став основою для одного з перших сонячних календарів. Давньоєгипетський календар складався з 12 місяців по 30 днів у кожному місяці. Пізніше єгиптяни установили тривалість року в 365 днів.

У Давньому Вавилоні, як і багатьох інших країнах світу, важливою єдиною одиницею лічби часу став місячний місяць — проміжок часу в 29,53 доби, через який фази Місяця повторюються в тому ж порядку. Перші календарі тут були місячні: вони складалися з 12 місяців по 29 і 30 днів у кожному. Близько 1800 р. до н. е. вавилоняни почали вживати місячно-сонячний календар, пристосовуючи тим самим відлік часу до зміни пір року. З Давнього Вавилону до наших днів дійшов звичай вважати дні семиденним тижнем — четвертою частиною періоду видимості Місяця на небі, а також поділяти години та хвилини на 60 менших одиниць.

У Давньому Китаї зачатки астрономії з'явилися вже за кілька тисяч років до нашої ери. В одному з найстарших китайських літописів

розповідається, що два придворних астрономи Хі і Хо не зуміли передбачити повного затемнення Сонця (22 жовтня 2137 року до н. е.) і за це сплатили життям. «Добродії Хі і Хо забули про чесноти, віддалися непомірному пияцтву, занедбали свої обов'язки, понизили свій ранг й уперше порушили відлік часу по світилах».

Значно ширшого розвитку здобула астрономія в греків. Під час подорожей греки розширили свої знання про те, як змінюється зоряне небо на різних широтах, дістали від інших, більш давніх народів накопичені ними відомості про небесні явища.

Давньогрецький математик Піфагор (VI ст. до н. е.) першим висловив думку про кулястість Землі. В Арістотеля (IV ст. до н. е.) з'являються нові сузір'я, невидимі в північних широтах.

Відкриття нових земель Колумбом (1492 р.), морського шляху в Індію Васко да Гамою (1498 р.), перша навколосвітня подорож Магеллана (1520–1522 рр.) дали багато нових уявлень про Землю.

Микола Коперник (1473–1543 рр.) показав, що планети обертаються навколо Сонця. З цього часу дослідження природи звільнилося від релігійних догматів, розвиток науки відбувався гігантськими кроками. У другій половині XVII ст. було побудовано астрономічні обсерваторії з астрономічними трубами і точними вимірювальними приладами.

2. Розділи астрономії. Зв'язок астрономії з іншими науками

Astron — зоря, *nomos* — закон.



- **Астрономія** — вивчає зоряний Всесвіт і закони, що ним керують.
- **Астрометрія** — займається питаннями видимого положення світил, визначення часу, координат тощо.
- **Небесна механіка** — вивчає просторовий рух небесних тіл, траєкторії ракет і т. ін.
- **Астрофізика** — вивчає фізичні характеристики небесних тіл і фізичних процесів, що відбуваються в надрах і на поверхні планет.
- **Зоряна астрономія** — вивчає будову, кінематику й динаміку зоряних систем.
- **Космогонія** — займається проблемою походження й розвитку небесних тіл.

Астрономія пов'язана з іншими науками.



- **Фізика** — фізичні методи визначення природи зір, сучасні досягнення техніки, телескопи і т. ін.
- **Геологія** — вивчення планетних порід.
- **Філософія** — підтвердження філософських концепцій, визначень, формулювань.
- **Математика** — математичні методи обчислення орбіт і т. ін.
- **Біологія** — дослідження космічних тіл з метою виявлення життя (білків).
- **Природознавство** — зміна пір року, припливи, відливи.

3. Астрономічні знання та розвиток цивілізації

Вступ людства в космічну еру був підготовлений всією його попередньою історією.

Створення спеціальних супутників Землі, здатних збирати необхідну для геології інформацію, дозволило одержати якісно нові дані про багато процесів, що формують будову і склад нашої планети. Космічне фотографування може надавати інформацію для виявлення корисних копалин. При цьому доступною стає будь-яка точка земної поверхні.

Дуже багато корисної інформації від штучних супутників Землі одержує сільське господарство. Принципово можливим стало спостереження з космосу за підготовкою полів до сівби, за сходами посівних культур, їхнім цвітінням, дозріванням, збиранням.

Особливу роль космічні засоби можуть відіграти під час охорони лісів від пожеж.

Для подальшого розвитку господарства важливо поліпшити точність прогнозів погоди, передбачень землетрусів, а головне — потрібно уточнити будову надр регіону, виявити нові райони, перспективні для пошуку корисних копалин, нафти, газу.

Вивчення регіону з космосу допоможе під час планування й реалізації міжнародних проектів, таких як спільна розвідка й експлуатація джерел мінеральної сировини, продуктів океану, раціональне спільне використання ресурсів рік, що протікають територією декількох держав (Дунай).

Коли ми дивимося на зорі, то нерідко у багатьох постає питання: яка ж будова або призначення зоряного неба? Яке наше місце в безмежному космосі?

Наш будинок — планета Земля, крихітна біло-блакитна куля, діаметром близько 13 000 км, що висить у безкрайому просторі.

Земля належить Сонячній системі. Сонячна система складається з єдиної зорі — Сонця — і восьми планет з їхніми супутниками, тисяч астероїдів, комет, незліченних часточок пилу. Усі вони обертається навколо Сонця. Поперечник Сонячної системи складає приблизно $13 \cdot 10^9$ км.

Сонце й Сонячна система розташовані в одному з гігантських спіральних рукавів Галактики, названої Чумацьким Шляхом. Наша Галактика містить понад 100 млрд зір, міжзоряний газ і пил, і все це обертається навколо її центра. Поперечник Галактики становить близько 100 000 світлових років (один мільярд км). Наша Галактика — це лише одна з мільйонів галактик, що заповнюють увесь навколишній простір, аж до краю доступного для огляду Всесвіту приблизно на 12 млрд світлових років ($116 \cdot 10^{21}$ км).

«Гуляючи тінистим гаєм, грецький філософ розмовляв зі своїм учнем. “Скажи мені,— запитає юнак,— чому тебе часто долають сумніви? Ти прожив довге життя, маєш безцінний досвід й учився у давніх еллінів. Як же так, що і для тебе залишилося багато нерозв’язаних питань?”»

Замислившись, філософ окреслив ціпком перед собою два кола: маленьке і велике. “Твої знання — це маленьке коло. Воно мало стикається з невідомістю. Чим ширше коло твоїх знань, тим більше його межа з невідомістю. І надалі, чим більше ти станеш дізнаватися нового, тим більше виникатиме в тебе незрозумілих питань».

4. Розвиток астрономічних знань в Україні

В оді, присвяченій астрономії і вміщеній у київському «Євхаристиріоні» 1632 р., її автор Михайло Полубенський писав, що той, хто добре пізнав «звіздарську науку», є «щасливим над інних»*. Оскільки сам прихід Христа на землю супроводжувався астральним явищем (Віфлеємська зірка), то астрономія, на думку автора оди, вже цим фактом дістала найвище благословення**.

Можливо, саме таке розуміння божественного призначення астрономії спричинило до того, що вона користувалася чи не най-

* Тітов Хв. Матеріали... — № 41. — С. 297.

** Там само. — С. 297.

більшою серед природничих наук популярністю в колах освічених верств українського суспільства. Астрономію не тільки вивчали у тогочасних українських школах, а й знаходили зацікавлених людей у позаакадемічному середовищі. Астрономічна проблематика, часто переплетена з астрологією й окультними науками, посідала чільне місце на сторінках полемічної літератури, духовної поезії, літописів і мемуаристики. Бібліотеки культурно-освітніх закладів і приватних осіб поповнювалися книгами з астрономії та астрології, що походили з наукових осередків Західної Європи. Зокрема, маємо свідчення, що в бібліотеках Острога було кілька праць астрономічного характеру: «Космографія» (Антверпен, 1564), «Фізика і сфера» (Франкфурт, 1593) і «Астрономічний календар на 1506 р.»*.

Існують нові переклади відомих у нас іще з XV ст. західноєвропейських астрономічних трактатів, зокрема «Луцідарія» Гонорія Отенського та «Сфери» Йоана Сакробоско. Так, до нас дійшов чудово збережений список нового українського перекладу «Луцідарія» з 1636 року. Виникнення та будова світу подаються у цьому творі за Арістотелем і Птолемеєм. До такого роду книг належала і «Сфера» Йоана Сакробоско. Її український переклад, як відомо, вперше з'явився ще в другій половині XV ст. під назвою «Космографія». Однак текст цього астрономічного твору дійшов до нас за списком кінця XVI ст. у так званому Холмському збірнику, що містив ряд праць з астрономічно-астрологічних тем. Цей факт певною мірою свідчить про те, що праця Сакробоско, будучи перекладеною у нас іще в XV ст., залишалася популярною і в наступному столітті. Нагадаємо, що ця праця, як і «Луцідарій», активно поширювала арістотелівсько-птолемейське вчення про світобудову і не тільки в Україні, а й в усій Європі аж до кінця XVI ст. залишалася основним астрономічним твором, незважаючи на існування в той час теорії Коперника.

Згаданий Холмський збірник астрономічно-астрологічних праць є унікальним явищем в українській астрономічній науці кінця XVI — початку XVII ст. Його анонімний укладач зібрав українську наукову літературу з астрономії різного походження і різної традиції. У ньому поряд з «Космографією», яка мала у нас уже понад столітню традицію, було вміщено і ряд астрономічних статей пізнішого написання. Та найцікавішим у Холмському збірнику ви-

* Сотниченко П. А. К истории библиотеки Острожской школы // Федоров. чтения, 1981. — Москва, 1985. — С. 150.

явився переклад однієї з астрологічних праць українського вченого XV ст. Юрія Дрогобича.

Наприкінці XVI — у першій половині XVII ст. в Україні не було практично жодного культурного діяча, який би не цікавився питаннями астрономії і особливо астрології. Одна з перших друкованих праць українського культурно-національного відродження кінця XVI — першої половини XVII ст. — «Календар Римський Новий» (Острог, 1587) ректора Острозької академії Герасима Смотрицького — була присвячена саме астрономічно-календарним питанням. Над астрономічно-астрологічною проблематикою працював також інший учасник Острозького науково-освітнього гуртка — поет і математик Андрій Римша. Не оминув цих питань і син Герасима Смотрицького Мелетій Смотрицький. Саме йому приписують авторство рукописного астрономічного твору з початку XVII ст., який умовно можна назвати «Повчання про комети». До його написання автора спонукала поява комети 1618 р., яка спричинила активні пересуди в народі і що було зафіксовано в Київському літописі. За своєю структурою та змістом це повчання є трактатом, у якому автор викладає панівні в його епоху астрономічні та астрологічні уявлення.

З XVII ст. «звіздарська наука» настільки заповонила духовну атмосферу українського суспільства, що почала відкрито проникати на сторінки богословської літератури, незважаючи на те, що офіційна церква рішуче засуджувала будь-яке «звіздозаконіє». Лаврентій Зизаній, корецький протопіп і вчений-філолог в одній особі, у своєму «Катехізисі» (1627), попри виклад християнського сповідання віри, подав багато даних з природознавства й астрономії. У «Катехізисі» Л. Зизаній, зокрема, писав «о крузах небесных, и о планитах, и о зодиях, и о затмении солнца, о громе и молнии, и о тресновении, и о шибении, и о перуне, и о комитах, и прочих звездах». Коли його московські опоненти, ревнителі чистоти православства, осудили ці астрономічні дані як такі, що походять з «книг острологии,... от волхвов и от идолослужителей», Лаврентій виправдовувався тим, що подав «вЪдомости ради, чтобы человек ведал, яко то есть», а не для того, щоб показати, що «звЪздами правится житию нашему».

«Звіздарською наукою» цікавився і Кирило-Транквіліон Ставровецький. У своєму «Зерцалі богословія» (Почаїв, 1618 р.), розмірковуючи про будову землі та її розташування у всесвіті, він наводить погляди «многих філософов и мудрейших богословов», які твердили, що земля кругла, «як яблуко», і не тільки земля, а й небо

і весь світ «округлий єсть». Що стосується небесних світил, то про них автор повідомляє: сонце «прехожденієм своїм в дванадесятих доміх нелестных звїзд», тобто рухом по сузір'ях Зодіаку, творить пори року — зиму, весну, літо й осінь. Обертаючись разом з небом від сходу до заходу, воно творить день на верху землі і ніч під нею, а проходячи відтак над землею від заходу до сходу, тут творить день, а на верху землі — ніч. Рух Місяця і планет служить основою для вимірювання часу, «показует времена и лета».

В іншому своєму творі — «Євангелії учительному» (Рахманов, 1619 р.) — Ставровецький, говорячи про місяць, твердить, що він «має світлість від сонця». Він є причиною сонячних затемнень: оскільки Сонце знаходиться на п'ятому, більш високому небі, а Місяць — на четвертому, тож трапляються моменти, коли місяць займає місце під сонцем, закриває його, наче хмара, і творить тьму на землі. Конструкцію землі і «небес» він пояснює на основі птолемеївської системи світобудови. Для нього однозначно земля куляста, «як яблуко», і взагалі увесь всесвіт «округлий єсть». Йдучи за європейською науковою традицією, К.-Т. Ставровецький утверджував погляд про сферичність всесвіту та пояснював рух небесних світил самообертами рухомих сфер, тобто законами природи. В умовах України кінця XVI — першої половини XVII ст. це мало прогресивне значення, оскільки в духовному житті українського суспільства продовжували поширюватися старі візантійські космологічні вчення, що відстоювали уявлення про плоску будову всесвіту. В цьому плані варто відзначити зростання інтересу в середовищі певних суспільних кіл до відомої астрономічно-географічної праці візантійського книжника VI ст. Козьми Індікоплова «Християнська топографія».

Серед цих вчень, як переконливо свідчать дані, поряд з геоцентричною системою Арістотеля—Птолемея впевнено пробивала собі дорогу геліоцентрична теорія М. Коперника. Серед викладачів Острозької школи були люди, які, навчаючись свого часу в Падуанському університеті, могли слухати лекції самого Галілея.

Із найновішими досягненнями тогочасної європейської астрономічної науки були, без сумніву, обізнані вчителі Львівської братської школи. Один з її провідних викладачів Стефан Зизаній вже відкрито декларував і обстоював погляд про множинність і безмежність світів. «Абовім вся земля, на которой живем,— писав він,— як єдина точка в посередку неба, а пред ся колкое маєт множество; а небеса небесные еще больше безмірную мають лічбу». Твердження

про «множество» світів і «безмірную лічбу» небес у кінці XVI ст. було вельми сміливим і межувало з релігійним вільнодумством.

Уперше задокументований виклад системи М. Коперника в Україні знаходимо під 1647 р. у філософському курсі (в розділі фізики) ректора Києво-Могилянського колегіуму Інокентія Гізеля. У «Повному курсі філософії» (*Opus totius philosophiae*), прочитаному ним студентам колегії в 1646–1647 рр., детально викладено «погляд Коперника, який вважав, що небеса і сонце не обертаються, а сонце є нерухомим центром Всесвіту, так що Земля, обертаючись, описує коло навколо Сонця і в такий спосіб творить дні і роки». Хоч І. Гізель ще критично ставився до вчення Коперника, оскільки воно, на його погляд, «суперечить Святому Письму», однак ознайомлення з ним студентів розширювало їхні пізнавальні горизонти, давало поштовх для пошуків наукової істини.

Взагалі, українські вчені першої половини XVII ст. були піонерами в поширенні геліоцентричного вчення не тільки в Україні, а й в усій Східній Європі. Так, Єпифаній Славинецький, професор Києво-Могилянського колегіуму в 40-х рр. XVII ст., переїхавши 1649 р. з культурною місією до Москви, переклав і видав там (разом з іншим киянином Арсенієм Сатановським) космологічну працю Йогана Блеу «*Theatrum orbis terrarum*» (Амстердам, 1645), у якій не тільки об'єктивно, а й із належним пієтетом викладено учення Коперника. Наведений вище стислий огляд історії астрономічних вчень в Україні наприкінці XVI — у першій половині XVII ст. засвідчує, що тодішня українська астрономічна думка розвивалася в загальному руслі астрономічної науки того часу.

Першу в Україні астрономічну обсерваторію засновано 1821 р. адміралом А. С. Грейсом. Обсерваторія була збудована у Миколаєві та мала обслуговувати Чорноморський флот. Другою в Україні була обсерваторія Київського університету, будівництво якої було закінчено 1845 року. Потім було відкрито обсерваторії в Одесі (1871) та Харкові (1888), 1900 року створено обсерваторію Львівського університету. У Сімеїзі (Крим) 1908 року було організовано астрофізичний відділ Пулковської обсерваторії, який у радянські часи входив до складу Кримської астрофізичної обсерваторії АН СРСР. У Полтаві 1926 року створено гравіметричну обсерваторію, основним завданням якої було вивчення рухів земних полюсів і припливів у земній корі. 1945 року в Голосієві, під Києвом, створено астрономічну обсерваторію АН УРСР.

Важливі астрометричні роботи виконали в Україні І. Є. Кортацці, Б. П. Остащенко-Кудрявцев, Л. І. Семенов (Миколаєв), В. І. Фабріціус, М. П. Диченко (Київ), М. В. Циммерман, Б. В. Новопащенко (Одеса), Г. В. Левицький, Л. О. Струве, М. М. Євдокимов (Харків), О. Я. Орлов, Є. П. Федоров (Полтава). М. Ф. Хандриков був визначним організатором Київської школи теоретичної астрономії. Важливі дослідження виконав у Києві А. О. Яковкін. У галузі астрофізики значних успіхів досягли С. К. Всехсвятський (Київ), О. К. Кононович і В. П. Цесевич (Одеса), В. Г. Фесенков, М. П. Барабашов (Харків), Г. М. Неуймін, Г. А. Шайн, Е. Р. Мустель (Крим), Е. В. Рибка, В. Б. Степанов, М. С. Ейгенсон (Львів) і багато інших.

5. Запитання до учнів у ході викладу нового матеріалу

1. Назвіть прізвища відомих вам астрономів минулих часів.
2. Проілюструйте прикладами твердження про те, що астрономія має прикладне значення.
3. Назвіть відмінності між небесною механікою та астрофізикою.
4. Поясніть, які чинники спонукали до появи геоцентричної моделі світу.
5. Наведіть докази, що астрономія є однією з найдавніших наук.
6. Обґрунтуйте причини, що обумовили й стимулювали зародження та розвиток астрономії.

IV. ЗАКРІПЛЕННЯ НОВОГО МАТЕРІАЛУ

Учні опрацьовують матеріал § 1, 2 підручника «Астрономія-11», заповнюючи робочий зошит.

1. Природничі науки використовують як теоретичні, так і практичні (експериментальні) методи дослідження. На уроках фізики, хімії, біології ви проводили лабораторні експерименти. Поясніть, чому основним методом дослідження в астрономії є спостереження. Чи існує можливість проведення астрономічних експериментів? Обґрунтуйте вашу відповідь.
2. Назвіть основні етапи розвитку астрономії. Охарактеризуйте кожний з них. Які важливі відкриття та винаходи були зроблені в цей період?
3. Встановіть відмінності між небесною механікою та астрофізикою.

Що ми дізналися на уроці

- Спостерігання за рухом світил дозволило людині орієнтуватися за зорями.

- Життєдіяльність багатьох народів, що займалися обробкою землі, узгоджувалася з явищами, які відбувалися на небі.
- Було створено календар (місячний, сонячний, місячно-сонячний).
- Розвиток суспільства сприяв розвитку знань з астрономії:
 - До XV ст.— спостереження неба, практична астрономія, астрологія.
 - XVI ст.— астрометрія.
 - XVII ст.— космогонія.
 - XVIII ст.— астрофізика, планетологія.
 - XIX ст.— небесна механіка, фізика зір, екзобіологія.
 - XX ст.— позагалактична астрономія, космологія, всевиштова астрономія.
- Астрономія — займається вивченням зоряного Всесвіту і законів, що нею керують.
- Астрометрія — займається питаннями видимого положення світил, визначення часу, координат тощо.
- Небесна механіка — вивчає просторовий рух небесних тіл, траєкторії ракет тощо.
- Астрофізика — вивчає фізичні характеристики небесних тіл і фізичних процесів, що відбуваються в надрах і на поверхні планет.
- Зоряна астрономія — вивчає будову, кінематику й динаміку зоряних систем.
- Космогонія — займається проблемою походження й розвитку небесних тіл.

V. ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ

Читати § 1, 2

Урок 2/І–1

Тема. Зоряне небо та небесна сфера. Сузір'я та походження їхніх назв. Поділ зоряного неба на сузір'я. Найвідоміші сузір'я неба та північної сфери. Зміна вигляду зоряного неба в різні пори року. Орієнтування за Сонцем, сузір'ями і Полярною зорею на місцевості і за часом

Цілі:

- *навчальна:* сформувати в учнів поняття сузір'я, з'ясувати походження та назви сузір'їв, ознайомити з найвідомішими сузір'ями, пояснити зміни вигляду зоряного неба в різні пори року, навчити учнів орієнтуватися за Сонцем та Полярною зорею;
- *розвивальна:* розширити знання учнів про навколишню природу, узагальнити знання, отримані раніше, в єдине ціле, встановивши міжпредметні зв'язки між курсом географії, природознавства та астрономією; продовжити розвиток просторової орієнтації з метою розширення кругозору учнів;
- *виховна:* з метою формування діалектичного світогляду показати пізнаваність світу, діалектичний шлях пізнання — від живого споглядання до абстрактного мислення і від нього — до практики; пояснити закономірності руху зір з наукового погляду; наголосити на необхідності вивчення цієї теми для практичних потреб людини.

Нові поняття:

- *Учні повинні знати:* кількість сузір'їв за сучасним поділом на небі; характерні сузір'я, найяскравіші зорі на небі.
- *Учні повинні вміти:* показувати основні сузір'я, яскраві зорі, характеризувати поділ зоряного неба на сузір'я, орієнтуватися на місцевості за Сонцем, сузір'ями і Полярною зорею.
- *Міжпредметні зв'язки:* географія, природознавство, геометрія, креслення

Демонстрації:

- 1) Зоряні карти, глобус зоряного неба.
- 2) Телурій.
- 3) Презентація «Зоряне небо».

Технічні засоби навчання, наочне приладдя:

- 1) Мультимедійний проектор, комп'ютер, CD-презентація «Зоряне небо».
- 2) Карта зоряного неба, зображення сузір'їв на давніх картах зоряного неба, атлас «А-11» — с. 4–7.

Обладнання:

- 1) Комп'ютер.
- 2) Мультимедійний проектор, екран.
- 3) Презентація «Зоряне небо».
- 4) Відеофрагмент «Зоряні орієнтири».

План заняття

Час	Метод навчання	Зміст роботи	Наочне приладдя, ТЗН
0,5 хв	Бесіда	Організаційний момент Перевірка готовності учнів до уроку. Стимулювання діяльності учнів, забезпечення їх загальної готовності, забезпечення своєчасного й організованого початку уроку	

Час	Метод навчання	Зміст роботи	Наочне приладдя, ТЗН
2–3 хв	Бесіда	Перевірка домашнього завдання Перевірка правильності виконання домашнього завдання	Робочий зошит з астрономії
2 хв	Бесіда	Актуалізація знань учнів Як ви вважаєте, що об'єднує астрономію і географію? Які ви знаєте способи орієнтації на місцевості без застосування спеціальних приладів? Які сузір'я зоряного неба вам відомі?	
20 хв	Лекція	Пояснення нового матеріалу 1) Сузір'я зоряного неба, походження їхніх назв. Зоряна величина. 2) Зміна вигляду зоряного неба в різні пори року. 3) Орієнтування за Сонцем, сузір'ями і Полярною зорею на місцевості і за часом.	
7 хв		Закріплення нового матеріалу Розв'язування задач	
5 хв		Перевірка знань учнів Робота з тестами	
		Домашнє завдання Читати § 3 (п. 1–3), 7 (п. 1–3)	

ХІД УРОКУ

І. ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ МОМЕНТ

ІІ. МОТИВАЦІЯ НА ВИВЧЕННЯ НОВОГО ШКІЛЬНОГО ПРЕДМЕТУ

Для мотивації учнів на вивчення нової теми можна запропонувати презентацію різних ділянок зоряного неба та вигляд зоряного неба на давніх картах.

Вірш Івана Буніна заздалегідь написаний на дошці.

*Ищу я в этом мире сочетанья
Прекрасного и вечного. Вдали
Я вижу ночь: пески среди молчанья
И звёздный свет над сумраком земли.*

*Как письменна, мерцают в тверди синей
Плеяды, Вега, Марс и Орион.
Люблю я их течение над пустыней
И тайный смысл их царственных имён!*

*Как ныне я, миряды глаз следили
Их древний путь. И в глубине веков
Все, для кого они во тьме светили,
Исчезли в ней, как след среди песков.*

*Их было много, нежных и любивших,
И девушек, и юношей, и жён,
Ночей и звёзд, прозрачно-серебривших
Евфрат и Нил, Мемфис и Вавилон!..*

И. Бунин

III. ПОЯСНЕННЯ НОВОГО МАТЕРІАЛУ

1. Сузір'я. Походження назв сузір'їв. Зоряна величина

У ясну безмісячну ніч неозброєним оком над горизонтом можна бачити близько 3 000 зір (до 6-ї зоряної величини). Телескопи дозволяють спостерігати більш слабкі зорі, причому кількість зір тим більше, чим потужніший телескоп застосовують: можна бачити 350 тис. зір до 10-ї зоряної величини, 32 млн зір до 15-ї зоряної величини, 1 млрд зір до 20-ї зоряної величини.

Для зручності орієнтування з-поміж величезної кількості зір на зоряному небі виділяють ділянки різної форми, що називаються сузір'ями. У кожному сузір'ї найбільш яскраві зорі утворюють характерні фігури, які легко знайти на небі й ототожнити їх із зорями на зоряній карті. Сузір'я мають свої назви. Деякі сузір'я були виділені на небі ще у давнину, до них належать, зокрема, зодіакальні сузір'я. Назви сузір'їв запозичені з міфології (Андромеда, Персей) чи пов'язані з діяльністю людей — скотарством, полюванням (Волопас, Засць). За міжнародною угодою небо розділене на 88 сузір'їв. Сузір'я — це область неба в межах деяких установлених границь. У сузір'ях зазвичай найяскравішу зорю позначали α (β , γ — у порядку убуття яскравості).

Зі 150 зір приблизно 20 назв було дано греками, близько 10 — римлянами і понад 100 — арабами. Для того щоб розрізнити на небі всі інші зорі, користуються або літерними позначеннями, або числовими. Зрозуміло, скромних можливостей 24 грецьких букв надовго не вистачило.

У другій половині минулого століття в Німеччині було опубліковано «Боннський огляд неба» — *Bonner Durchmusterung*, чи скорочено ВД. Цей капітальний 4-томний каталог і прикладений до нього великий атлас неба охоплюють 457 857 зір, видимих у Пів-

нічний півкулі Землі. З тих пір найпоширенішим позначенням слабких зір стало посилання на каталог ВД. Зорі в цьому каталозі розміщені за зонами в 1° , розділений небесними паралелями, таким чином, позначення зорі складається з назви каталогу, номера зони і номера зорі усередині зони. Позначення ВД + 4° 4048 слід розшифрувати як зорю № 4048 «Боннського огляду» у зоні, розташованій між небесними паралелями $+4^\circ$ і $+5^\circ$.

1919 р. був організований Міжнародний Астрономічний Союз — вищий законодавчий орган астрономів. Розглянувши всі пропозиції, що існували коли-небудь, він виключив з числа сузір'їв зовсім випадкові і невдалі, раз і назавжди утвердивши остаточний список із 88 сузір'їв. Багато назв сузір'їв були спрощені. Замість телескопа Гершеля, наприклад, залишився просто Телескоп, Хімічна Піч перетворилася на звичайну Піч. Повітряний насос став просто Насосом, Різець Гравера — Різцем. Границі між сузір'ями були прийняті наново — старі звивисті границі замінили рівними лініями, що йдуть уздовж ліній сітки небесних координат.

Щоб полегшити відшукування тієї чи іншої зорі на небі, складають зоряні карти, на яких зорі позначають кружками різного діаметра — залежно від їхньої зоряної величини. Щоб зорі можна було відшукати на карті за їхніми координатами, карту позначають координатною сіткою.

2. Найвідоміші сузір'я Північної півкулі

Сузір'я Північного неба

Андромеда (лат. *Andromeda*) — сузір'я, розташоване над «М» Кассіопеї і лівіше на лінії Полярна—Саф. Містить у собі ланцюжок з трьох яскравих зір — Альферац (Сірро) (альфа, дельта Пегаса), Мирах (бета), Альма (гамма). Андромеда — у грецькій міфології дочка царя Ефіопії, віддана ним в жертву морському чудовиську, що спустошувало країну, і врятована Персеєм. Згідно з міфом, після смерті перетворилася на сузір'я (звідси назва сузір'я).

Близнюки (лат. *Gemini*) — сузір'я у формі великого прямокутника лівіше Візничого і вище від Оріона. У верхній частині яскраві зірки Поллукс (бета) і Кастор (альфа) названі за іменами близнюків класичної міфології, внизу ліворуч — Альхена (Альмеісан, гамма).

Велика Ведмедиця (лат. *Ursa Major*) — одне з найбільших сузір'їв. Частина сузір'я утворює астеризм у вигляді ковша із загнutoю донизу ручкою. Край ковша утворений двома зорями — Мерак (бета) і Дубге (альфа), що вказують на Полярну зорю. Літерні позначення прийняті не за яскравістю зір, а за їх розташуванням.

Інші зорі ковша — Фекда (гамма), Мегрез (дельта), Аліот (епсидон), Міцар (дзета), Алькаїд (Бенетнаш, ета).

Візничий (лат. *Auriga*) — сузір'я у формі п'ятикутника, розташоване на лініях з ковша до носа Великої Ведмедиці і від Андромеди до Персея. Найяскравіша зоря — шоста за яскравістю Капела (Альхайот, альфа). Трохи менш яскраві — Менкалінан (бета) і Ельтанат (гамма, бета Тільця).

Волопас (лат. *Bootes*) має вигляд сильно витягнутого донизу чотирикутника. Знаходиться відразу зліва від ручки Великого Ковша. Нижня зоря — четверта за яскравістю зірка Арктур (альфа). Інші найбільш яскраві зорі — Муфрід (ета), Ізар (епсидон), Сегінус (гамма).

Волосся Вероніки (лат. *Coma Berenices*). У Волосся Вероніки знаходиться видиме озброєним оком розсіяне зоряне скупчення.

Геркулес (лат. *Hercules*) — сузір'я Північної півкулі; у Геркулесові виявлений рентгенівський пульсар *Her X-1*, що ототожнюють з оптично змінною зорею *HZ Her*. У напрямку до Геркулеса рухається Сонячна система. Частини Геркулеса мають вигляд трапеції і більш яскравого трикутника. Трапеція розташована прямо між Лірою і Північною Коронаю. Найбільш яскрава зоря — Корнефорос (бета).

Гончі Пси (лат. *Canes Venatici*) — невелике сузір'я північної півкулі. α — Кор Каролі (Серце Карла), β — Чара.

Дельфін (лат. *Delphinus*) — сузір'я Північної півкулі, 69 за розміром сузір'я зоряного неба. α — Суалоцін, β — Ротань.

Дракон (лат. *Draco*) — приполярне сузір'я, одна із зір якого, Тубан, що розташована між Міцаром і парою яскравих зір Ковша Малої Ведмедиці, була Полярною близько 2,5 тис. років тому і знову буде Полярною через 20 тис. років. Сильно витягнуте сузір'я. Хвіст огинає Малу Ведмедицю і дотикається до Великої. Голова у вигляді чотирикутника праворуч від основи Цефея. Спереду голови — найбільш яскраві зорі Ельтанін (гамма) і Растабан (бета).

Жирафа (лат. *Camelopardalis*) — приполярне сузір'я Північної півкулі. Вісімнадцяте за розміром сузір'я зоряного неба.

Кассіопея (лат. *Cassiopeja*) — сузір'я Північної півкулі; 5 найбільш яскравих зір Кассіопеї утворюють фігуру, схожу на букву W. У Кассіопеї виявлено потужне галактичне джерело радіовипромінювання *Cas A*. α — Шедар, β — Каф, δ — Рукба, ϵ — Сегін.

Лебідь (лат. *Cygnus*) — сузір'я Північної півкулі. Неофіційна назва — Північний Хрест. Схоже на лебедя з витягнутою шиєю. Розташоване під сузір'ям Цефея. Найяскравіші зорі — Денеб (альфа), Хвіст і Садр (гамма), у центрі. У голові — зоря Альбірео (бета). У Ле-

беда виявлено 2 джерела рентгенівського випромінювання *CygX-1* *CygX-2*, перше з яких, можливо, пов'язане з чорною дірою.

Ліра (лат. *Lyra*) — невелике сузір'я у вигляді чотирикутника з п'ятою за яскравістю зорею неба Веогою (альфа). Розміщено зліва від голови Лебедя.

Лисичка (лат. *Vulpecula*) — сузір'я Північної півкулі. 55 за розміром сузір'я зоряного неба.

Мала Ведмедиця (лат. *Ursa Minor*) — приполярне сузір'я, найбільш яскраві зорі якого утворюють фігуру, схожу на ківш. Крайня зоря ручки ковша — Полярна зоря (Альрукаба, альфа) — розташована біля Північного полюса світу. β — Кохаб, γ — Феркад, δ — Йїлдун.

Малий Лев (лат. *Leo Minor*) — 64 за розміром сузір'я зоряного неба.

Овен (лат. *Aries*) — невелике зодіакальне сузір'я, за міфологічним уявленням, зображує золоте руно, яке шукав Ясон. α — Гамаль, β — Шератан, γ — Месартхім, δ — Ботейн.

Персей (лат. *Perseus*) — група зір над «М» Кассіопеї. У сузір'ї міститься подвійне розсіяне зоряне скупчення *c* і *h* Персея. Виділяють Мірфак (альфа) та Алголь (бета), ближче до Тельця — Атік (дзета).

Рак (лат. *Cancer*) — міфологічне сузір'я, нагадує краба, розчавленого ногою Геракла під час битви з гідрою. Жодна із зір не перевищує 4-ї зоряної величини, хоча зоряне скупчення Ясла в центрі сузір'я можна бачити озброєним оком. Дзета Рака — кратна зоря (*A*: $m = 5,7$, жовтий; *B*: $m = 6,0$, блакитний, спектрально-подвійна; *C*: $m = 7,8$).

3. Зміна вигляду зоряного неба в різні пори року

...Вид звездного неба в ясную ночь доставляет такое удовольствие, какое испытывает только благородная душа. При всеобщем безмолвии природы и спокойных чувствах заговорит тогда скрытая познавательная способность бессмертного духа на неизъяснимом языке и внушит неясные понятия, которые можно, правда, почувствовать, но нельзя описать.

И. Кант.

Всеобщая естественная история
и теория неба, 1755

У різні пори року увечері можна спостерігати різні сузір'я. Як це можна пояснити?

Сонце не тільки рухається разом з усіма зорями, протягом доби з'являючись на сході і заходячи на заході, але ще й повільно переміщується серед зір у зворотному напрямі (тобто із заходу на схід), переходячи із сузір'я в сузір'я. Зрозуміло, те сузір'я, у якому в певний момент перебуває Сонце, ви спостерігати не зможете, оскільки воно разом з Сонцем рухається по небу вдень, тобто тоді, коли зорі не видно.

Шлях, яким Сонце переміщується серед зір протягом року, називається екліптикою. Він проходить через дванадцять так званих зодіакальних сузір'їв, у кожному з яких Сонце щорічно буває приблизно по одному місяцю. Назви цих сузір'їв такі: Риби, Овен, Телець, Близнюки, Рак, Лев, Діва, Терези, Скорпіон, Стрілець, Козеріг, Водолій.

Річне переміщення Сонця серед зір — це модель. У реальності рухається сам спостерігач разом із Землею навколо Сонця, тому й здається, що Сонце перескакує з одного сузір'я в інше.

Демонстрація: вигляд зоряного неба в різні пори року можна продемонструвати за допомогою програми Stellarium-0.10.6.1.exe.

4. Орієнтування за Сонцем, сузір'ями і Полярною зорею на місцевості і за часом

До винаходу компаса зорі були основними орієнтирами: саме за ним давні мореплавці і мандрівники знаходили потрібний напрям. Астронавігація — орієнтування за зорями — зберегла своє значення і в наш час супутників та атомної енергії. Вона необхідна для штурманів і космонавтів, капітанів і пілотів. Навігаційними називають 25 найяскравіших зір, за допомогою яких визначають місцезнаходження корабля.



Рис. 2.2. Навігаційні зорі Північної та Південної півкуль

За компасом визначити сторони світу нескладно, але за його відсутності можна вдатися по допомогу сонця, зір, рослин тощо. Напрямок на північ у Північній півкулі визначають, ставши опівдні спиною до Сонця. Тінь, відкинута тілом, немов стрілка, вкаже на північ. При цьому захід буде ліворуч, а схід — праворуч. У Південній півкулі все навпаки: тінь ляже на південь, а захід і схід будуть відповідно праворуч і ліворуч.

Якщо покласти годинник на горизонтальну поверхню і повертати їх до тих пір, поки годинна стрілка не буде спрямована в бік сонця, а потім через центр циферблата на цифру 1 (13 годин) подумки провести пряму лінію (А), то бісектриса кута, утвореного нею і годинною стрілкою, пройде з півночі на південь (див. рис. 2.3). При цьому до 12 години дня південь буде праворуч від сонця, а після дванадцяти — ліворуч.

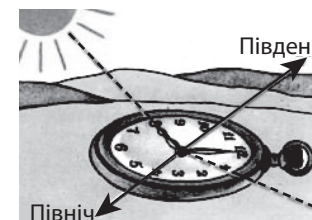


Рис. 2.3

Зорієнтуватися в нічний час у Північній півкулі найлегше за Полярною зорею, яка розташована над Північним полюсом. Відшукати її на нічному небі допомагає сузір'я Велика Ведмедиця, що має характерний обрис гігантського ковша з ручкою.

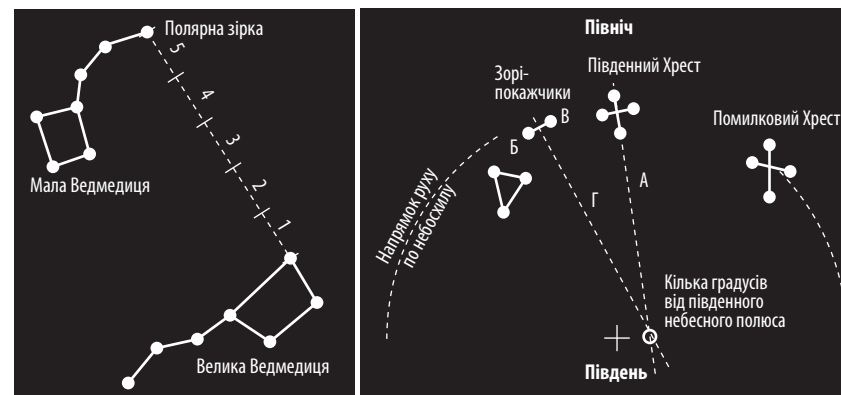


Рис. 2.4

Рис. 2.5

Якщо через дві крайні зорі ковша провести уявну пряму, а відстань між ними відкласти на цій лінії п'ять разів, то на кінці останнього відрізка буде видно яскрава зоря — це і є Полярна. Точність визначення цим способом може досягати 3–4° (див. рис. 2.4).

У Південній півкулі зазвичай орієнтуються за сузір'ям Південний Хрест — чотирма яскравими зорями, розташованими у формі хреста. Напрямок на південь визначають за лінією (А), подумки проведеною через довгу вісь Хреста. Для більш точного визначення небесного Південного полюса користуються двома зорями-показниками, розташованими ліворуч від Південного Хреста. Поєднавши їх уявною лінією (В — В) через її середину, проводять перпендикуляр (Г), який продовжують до перетину із лінією А.

Точка перетину знаходиться практично над Південним полюсом. Істинний Південний Хрест іноді плутають з помилковим. Зорі помилкового хреста менш яскраві і розташовані одна від одної на значно більшій відстані.

Існує чимало простих, доступних методів, за допомогою яких можна визначити не тільки країни світу, а й навіть географічні координати без будь-яких спеціальних навігаційних приладів.

В основі одного з таких способів обчислення географічної довготи лежить визначення різниці в часі між настанням місцевого полудня і показаннями годинника на цей момент.

Місцевий південь визначають за допомогою жердини завдовжки 1–1,5 м і кількох кілочків. Жердину встромляють у землю строго вертикально (це легко перевірити найпростішим схилом), а потім, у міру наближення сонця до зеніту, відзначають кілочками край тіні, що відкидає жердина.

Тінь, переміщаючись, поступово коротшає, і той момент, коли вона стала найкоротшою, і є місцевим полуднем, тобто проходженням Сонця через даний меридіан. Тепер залишається тільки записати показання годинника і зробити нескладні обчислення.

Переводячи години в градуси, виходять з того, що 1 година відповідає $15^{\circ}4'$, хвилина — $1^{\circ}4'$, секунда — $1'$ довжини. Слід врахувати, що кутова швидкість руху Сонця змінюється залежно від пори року, і тому в розрахунок необхідно ввести поправку, взятую з таблиці рівняння часу (див. таблицю на с. 25).

Залежно від знака, що стоїть перед поправкою, її або віднімають, або додають. Якщо годинник виставлено за східним стандартним часом, то його слід перевести спочатку в гринвіцький, додавши п'ять годин. Потім, додавши (або віднявши) поправку, отриманий результат переводять в градуси.

Наприклад:

12 березня місцевий полудень настав, коли годинник показував 14 годин 02 хвилини, що, за Гринвічем, з урахуванням поясної по-

Таблиця

Дата	Рівняння часу, хв	Дата	Рівняння часу, хв	Дата	Рівняння часу, хв
Січень		Травень		Жовтень	
1	–3,5	2	+3,0	1	+10,0
2	–4,0	14	+3,0	4	+11,0
4	–5,0	Травень 28		7	+12,0
7	–6,0	Червень		11	+13,0
9	–7,0	4	+2,0	15	+14,0
12	–8,0	9	+1,0	20	+15,0
14	–9,0	14	0,0	Жовтень 27	+16,0
17	–10,0	19	–1,0	Листопад	
20	–11,0	23	–2,0	4	+16,0
24	–12,0	Червень 28	–3,0	11	+16,0
Січень 28	–13,0	Липень		17	+15,0
Лютий		3	–4,0	22	+14,0
4	–14,0	9	–5,0	25	+13,0
13	–14,0	18	–6,0	Листопад 28	+12,0
19	–14,0	Липень 27	–6,6	Грудень	
Лютий 28	–13,0	Серпень		1	+11,0
Березень		4	–6,0	4	+10,0
4	–12,0	12	–5,0	6	+9,0
8	–11,0	17	–4,0	9	+8,0
12	–10,0	22	–3,0	11	+7,0
16	–9,0	25	–2,0	13	+6,0
19	–8,0	Серпень 29	–1,0	15	+5,0
22	–7,0	Вересень		17	+4,0
26	–6,0	1	0,0	19	+3,0
		5	+1,0	21	+2,0
Березень 29	–5,0	8	+2,0	23	+1,0
Квітень		10	+3,0	25	0,0
1	–4,0	13	+4,0	27	–1,0
5	–3,0	16	+5,0	29	–2,0
8	–2,0	19	+6,0	Грудень 31	–3,0
12	–1,0	22	+7,0		
16	0,0	25	+8,0		
20	+1,0	Вересень 28	+9,0		
Квітень 25	+2,0				

правки (5 год) та поправки рівняння часу (–10 хв) відповідатиме 18-й годині 52 хвилинам (14 год 02 хв + 5:00 — 10 хв).

Шукана різниця (18 год 52 хв. — 12 год) дорівнює 6 годинам 52 хвилинам, що під час переведення в градуси відповідає 103° довготи, причому довготи західної, оскільки місцевий полудень настав пізніше від гринвіцького.

Зазначений метод дозволяє визначати довготу місця з точністю до $2-3^\circ$. Географічну широту місця (між 60° північної широти і південної широти) розраховують з точністю в півградуса (50 км) за тривалістю дня, тобто часу від появи сонячного диска над лінією горизонту до моменту повного його зникнення.

Цей спосіб особливо зручний для визначення широти в океані, коли встановилася тиха, штильова погода. Лише двічі на рік, з 11 по 31 березня і з 13 вересня по 2 жовтня, коли тривалість дня на всіх широтах приблизно однакова, цей метод виявляється непридатним.

5. Запитання до учнів у ході викладу нового матеріалу

1. Чи всі зорі мають власні назви?
2. Звідки походить слово «Зодіак»?
3. Скільки налічується знаків Зодіаку?
4. Територію скількох сузір'їв проходить Сонце протягом року?
5. Що є причиною видимого зміщення Сонця?
6. Яка зоря яскравіша: зоря 1-ї зоряної величини чи зоря 6-ї зоряної величини?

IV. ЗАКРІПЛЕННЯ НОВОГО МАТЕРІАЛУ

Учні опрацьовують матеріал § 3 (п. 1-3), 7 (п. 1-3) підручника «Астрономія-11», заповнюючи робочий зошит

1. Що розуміють під зоряною величиною?
2. Опишіть коротко, як ви можете пояснити зміну виду зоряного неба внаслідок обертання Землі навколо Сонця.
3. Чому видиме переміщення зір по небу відбувається по дугах?
4. Знайдіть на картах зоряного неба сузір'я, чиї назви походять від імен героїв давньогрецьких міфів, назв тварин, неживих предметів.
5. Які способи орієнтації в просторі за Сонцем, Місяцем, зорями тобі відомі?

Що ми дізналися на уроці

- Неозброєним оком над горизонтом можна бачити близько 3000 зір (до 6-ї зоряної величини).

- За допомогою телескопів можна побачити 350 тис. зір до 10-ї зоряної величини, 32 млн зір до 15-ї зоряної величини, 1 млрд зір до 20-ї зоряної величини.
- Небо розділене на 88 сузір'їв.
- Сузір'я — це ділянка неба, що має певні установлені границі.
- 150 яскравих зір одержали власні назви: арабські, грецькі чи латинські. У сузір'ях зазвичай найяскравішу зорю позначали α (β , γ — у порядку убутання яскравості).
- Різниця блиску двох об'єктів в 1 зоряну величину означає, що відношення їхнього блиску складає приблизно 2,5. Різниця у 5 зоряних величин відповідає різниці за яскравістю рівно в 100 разів.
- Зоряна величина позначається вгорі маленькою латинською буквою m (від слова «магнітуда»).
- Виділяють 25 найяскравіших зір, які допомагають орієнтуватися в безмежному просторі. Ці зорі називають навігаційними.
- Напрямок на північ у Північній півкулі визначають, ставши опівдні спиною до сонця. Тінь, відкинута тілом, вкаже на північ.
- Зорієнтуватися в нічний час у Північній півкулі найлегше за Полярною зорею, яка розташована над Північним полюсом. Відшукати її на нічному небі допомагає сузір'я Велика Ведмедиця, що має характерний обрис гігантського ковша з ручкою.

V. ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ

1. Читати § 3 (п. 1-3), 7 (п. 1-3).
2. Завдання письмово с. 21 № 3.1, 3.2.

Урок 3/І-2

Тема. Видимі зоряні величини. Найяскравіші зорі на небі та в північній півсфері. Одиниці відстаней в астрономії. Абсолютна зоряна величина

Цілі:

- *навчальна:* продовжити формування вмінь роботи з картою зоряного неба, поглибити знання учнів про сузір'я, походження, назви сузір'їв та цікаві об'єкти, які знаходяться в них; ввести поняття річного паралаксу та ознайомити з методами визначення відстаней до зір та одиницями відстаней в астрономії; ввести поняття абсолютної зоряної величини та сформувати вміння обчислювати абсолютну зоряну величину для зір;
- *розвивальна:* розширити знання учнів про методи пізнання природних об'єктів, способів визначення відстаней до віддалених небесних об'єктів;
- *виховна:* з метою формування діалектичного світогляду показати пізнаваність світу, розкриваючи роль математичних методів в астрономії.

Нові поняття:

- *Учні повинні знати:* поняття видимої та абсолютної зоряних величин, річного паралаксу, одиниці відстаней в астрономії.
- *Учні повинні вміти:* вести розрахунки абсолютної зоряної величини, визначати відстані до зір за їх річним паралаксом в астрономічних одиницях, парсеках, світлових роках.
- *Міжпредметні зв'язки:* природознавство, математика, креслення.

Демонстрації:

- 1) Зоряні карти.
- 2) Глобус зоряного неба.
- 3) Телурій.
- 4) Презентація «Зоряне небо».

Технічні засоби навчання, наочне приладдя:

- 1) Мультимедійний проектор, комп'ютер, CD-презентація «Зоряне небо».
- 2) Карта зоряного неба, зображення сузір'їв на давніх картах зоряного неба, атлас «А-11» — с. 4–7.

Обладнання:

- 1) Комп'ютер.
- 2) Мультимедійний проектор, екран.
- 3) Презентація «Зоряне небо».
- 4) Відеофрагмент «Зоряні орієнтири».

План заняття

Час	Метод навчання	Зміст роботи	Наочне приладдя, ТЗН
0,5 хв	Бесіда	Організаційний момент Перевірка готовності учнів до уроку. Стимулювання діяльності учнів, забезпечення їх загальної готовності, забезпечення своєчасного й організованого початку уроку	
5 хв	Робота з тестами	Перевірка домашнього завдання Перевірка правильності виконання домашнього завдання	Робочий зошит з астрономії

Час	Метод навчання	Зміст роботи	Наочне приладдя, ТЗН
2 хв.	Бесіда	Актуалізація знань учнів 1. Яка зоря яскравіша: зоря 1-ї зоряної величини чи зоря 6-ї зоряної величини? 2. Як відрізняється яскравість зір 1-ї та 2-ї зоряної величин? 3. Яка зоря розташована найближче до Землі? Чому дорівнює її видима зоряна величина?	
20 хв	Лекція	Пояснення нового матеріалу 1) Найяскравіші зорі на небі в Північній півкулі 2) Одиниці відстаней в астрономії. Способи визначення відстаней до зір 3) Абсолютна зоряна величина	
7 хв		Закріплення нового матеріалу Розв'язування задач	
5 хв		Перевірка знань учнів Робота з тестами	
		Домашнє завдання Читати § 3 (п. 4, 5, 6)	

ХІД УРОКУ

I. ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ МОМЕНТ

II. ПОЯСНЕННЯ НОВОГО МАТЕРІАЛУ

1. Найяскравіші зорі на небі в Північній півкулі

Учням пропоную за допомогою карти зоряного неба знайти зорі α , β сузір'їв Північної півкулі, а за допомогою довідкових таблиць встановити їхні назви. Роботу супроводжує розповідь учителя про особливості тієї чи іншої зорі. Для організації роботи можна скористатися нижченаведеною таблицею (на с. 30–31).

У списку подані найяскравіші зорі, які можна спостерігати із Землі в оптичному діапазоні за видимою зоряною величиною. Для кратних зір наведена сумарна зоряна величина.

Зоряна величина позначається вгорі маленькою латинською буквою m (від слова «магнітудо»). Наприклад видима зоряна величина зорі Канопус дорівнює $-0,72^m$. Видима зоряна величина (m ; іноді називають «зоряна величина») характеризує потік випромінювання поблизу спостерігача. Таким чином, яскравість, яку спостерігаємо від небесного джерела, залежить не тільки від реальної потужності об'єкта, але й від відстані цього об'єкта до земного спостерігача.

№	Назва	Від- стань, св. роки	Ви- дима вели- чина	Абсо- лютна величи- на	Спек- тральний клас	Небесна півкуля і номер у півкулі
0	Сонце	1 а. о.	-26,72	4,8	G2V	
1	Сиріус (α Ве- ликого Пса)	8,6	-1,46	1,4	A1Vm	Південна (1)
2	Канопус (α Кіля)	310	-0,72	-5,53	A9II	Південна (2)
3	Толіман (α Центавра)	4,3	-0,27	4,06	G2V+K1V	Південна (3)
4	Арктур (α Волопаса)	34	-0,04	-0,3	K1.5IIIp	Північна (1)
5	Вега (α Ліри)	25	0,03 (змін)	0,6	A0Va	Північна (2)
6	Капела (α Возничого)	41	0,08	-0,5	G6III + G2III	Північна (3)
7	Ригель (β Оріона)	~870 ⁽²⁾	0,12 (змін)	-7 ⁽³⁾	B8Iae	Південна (4)
8	Проціон (α Малого Пса)	11,4	0,38	2,6	FSIV - V	Північна (4)
9	Ахернар (α Еридана)	69	0,46	-1,3	B3Vnp	Південна (5)
10	Бетельгейзе (α Оріона)		0,50 (змін)	-5,14	M2Iab	Північна (5)
11	Хадар (β Центавра)	~400 ⁽²⁾	0,61 (змін)	-4,4	B1III	Південна (6)
12	Альтаір (α Орла)	16	0,77	2,3	A7Vn	Північна (6)
13	Акрукс (α Південного Хреста)	~330 ⁽²⁾	0,79	-4,6	D0.5Iv + B1Vn	Південна (7)
14	Альдебаран (α Тільця)	60	0,85 (змін)	-0,3	KSIIf	Північна (7)
15	Антарес (α Скорпіона)	~610 ⁽²⁾	0,96 (змін)	-5,2	M1.5Iab	Південна (8)
16	Спіка (α Діви)	250 ⁽²⁾	0,98 (змін)	-3,2	B1V	Південна (9)

№	Назва	Від- стань, св. роки	Ви- дима вели- чина	Абсо- лютна величи- на	Спек- тральний клас	Небесна півкуля і номер у півкулі
17	Поллукс (β Близнюків)	40	1,14	0,7	K0IIIb	Північна (8)
18	Фомальгаут (β Південної Риби)	22	1,16	2,0	A3Va	Південна (10)
19	Бекрукс (β Південного Хреста)	~290 ⁽²⁾	1,25 (змін)	-4,7	B0.5III	Південна (11)
20	Денеб (α Лебеда)	~1500 ⁽²⁾	1,25	-7,2	A2Ia	Північна (9)
21	Регул (α Лева)	69	1,35	-0,3	B7Vn	Північна (10)
22	Адара (ε Великого Пса)	~400 ⁽²⁾	1,50	-4,8	B2II	Південна (12)
23	Кастор (α Близнюків)	49	1,57	0,5	A1V+A2V	Північна (11)
24	Гакрукс (γ Південного Хреста)	120	1,63 (змін)	-1,2	M3.5III	Південна (13)
25	Шаула (λ Скорпіона)	330	1,63 (змін)	-3,5	B1.5IV	Південна (14)

Шкала видимих зоряних величин введена ще в зоряному каталозі Гіппарха (126 р. до н. е.), у якому всі видимі оком зорі були вперше розділені на 6 класів яскравості. Зорі ковша Великої Ведмедиці мають блиск приблизно 2^m , Вега — 0^m . Особливо яскраві зорі мають зоряні величини менше від 0: Сиріус — $-1,46^m$ (світловий потік від нього в 4 рази більший, ніж від Веги). Видима зоряна величина може бути виміряна як неозброєним оком, так і за допомогою телескопа; як у візуальному (оптичному) діапазоні, так і в інших — ультрафіолетовому, інфрачервоному.

2. Одиниці відстаней в астрономії

В астрономії немає єдиного універсального способу визначення відстаней. За міру переходу від близьких небесних тіл до більш да-

леких одні методи визначення відстаней змінюють інші. Точність оцінювання відстаней обмежується або точністю найгрубішого з методів, або точністю вимірювання астрономічної одиниці довжини (а. о.), величину якої, з урахуванням різних змін, Міжнародний астрономічний союз ухвалив 1976 року:

$$1 \text{ а. о.} = 149597870 \pm 2 \text{ км.}$$

В астрономії прийнято такі одиниці відстаней:

- **астрономічна одиниця (а. о.)** — середня відстань Землі від Сонця;
- **парсек (пк)** — відстань, з якої радіус земної орбіти можна побачити під кутом в $1''$;
- **світловий рік** — відстань, яку світло проходить за один рік, поширюючись зі швидкістю близько 300 000 км/с.

Якщо астрономічну одиницю прийняти рівною 149 600 000 км, то

$$1 \text{ пк} = 30,86 \cdot 10^{12} \text{ км} = 206\,265 \text{ а. о.} = 3,26 \text{ світлового року};$$

$$1 \text{ світловий рік} = 9,460 \cdot 10^{12} \text{ км} = 63240 \text{ а. о.} = 0,3067 \text{ пс.}$$

В астрономічних одиницях виражаються відстані до тіл Сонячної системи. Наприклад, Меркурій знаходиться від Сонця на відстані 0,387 а. о., а Плутон — на відстані 39,75 а. о.

Відстані до небесних тіл, що знаходяться за межами Сонячної системи, зазвичай виражають у парсеках, кілопарсеках (1000 пк) та мегапарсеках (1 000 000 пк), а також у світлових роках. У цих випадках:

$$r = \frac{1}{\pi''} \text{ пк, } r = \frac{3,26}{\pi''} \text{ св. рік.}$$

Найближча до Сонця зоря Проксіма Центавра має річний паралакс $\pi = 0'',762$. Отже, вона знаходиться від нас на відстані 1,31 пк, або 4,26 світлового року.

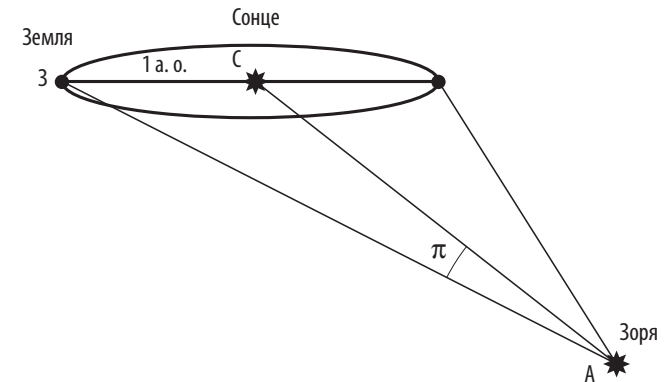
Визначення відстаней до планет Сонячної системи

$$r = \sqrt[3]{T^2 \left(1 + \frac{m_{\text{пл}}}{m_{\text{с}}} \right)} \approx \sqrt[3]{T^2}$$

Середню відстань r планети від Сонця (у частках а. о.) знаходять за періодом її обертання T , де r виражено в а. о., а T — у земних роках. Масою планети m , порівняно з масою сонця $m_{\text{с}}$, можна знехтувати. Формула випливає з третього закону Кеплера (квадра-

ти періодів обертання планет навколо Сонця відносяться як куби їх середніх відстаней від Сонця). Відстані до Місяця і планет з високою точністю визначено також методами радіолокації планет.

Визначення відстаней до зір



Метод паралакса. Внаслідок річного руху Землі по орбіті близькі зорі незначною мірою переміщуються відносно далеких «нерухомих» зір. За рік така зоря описує на небесній сфері малий еліпс, розміри якого тим менші, чим віддаленіша зоря. У кутовій мірі велика піввісь цього еліпса приблизно дорівнює величині максимального кута, під яким із зорі видно 1 а. о. (велика піввісь земної орбіти), перпендикулярна до напрямку на зорю. Цей кут (π), названий річним або тригонометричним паралаксом зорі, дорівнює половині її видимого зміщення за рік, служить для вимірювання відстані до неї на основі тригонометричних співвідношень між сторонами і кутами трикутника ЗСА, у якому відомий кут π і базис — велика піввісь земної орбіти (див. рис.). Відстань r до зорі, що визначається за величиною астрономічної одиниці і її тригонометричного паралакса π , так само:

$$r = \frac{1}{\pi} \text{ (пк),}$$

де паралакс π виражений у кутових секундах.

3. Абсолютна зоряна величина

У середині XIX ст. англійський астроном Норман Погсон удосконалив метод класифікації зір за принципом світності, що існувала з часів Гіппарха і Птолемея. Погсон врахував, що різниця

в плані світності між двома класами становить 2,5 (наприклад, сила світності зорі третього класу в 2,5 раза більше, ніж у зорі четвертого класу). Погсон увів нову шкалу, за якою відношення між зорями першого і шостого класу становить 100 до 1.

Видимі зоряні величини нічого не говорять ні про загальну енергію, випромінювану зорею, ні про яскравості її поверхні. Дійсно, внаслідок відмінності у відстанях маленька, порівняно холодна зоря тільки через свою відносно значну близькість до нас може мати значно меншу видиму зоряну величину (тобто здаватися яскравіше), ніж далекий гарячий гігант.

Якщо відстані до двох зір відомі, то на підставі їхніх видимих зоряних величин легко знайти ставлення випромінюваних ними дійсних світлових потоків. Для цього достатньо освітленості, створювані цими зірками, віднести до загальної для всіх зір стандартної відстані. За таку відстань приймають 10 пк.

Зоряна величина, яку мала б зоря, якщо її спостерігати з відстані в 10 пк, називається абсолютною зоряною величиною. (При цьому не враховується міжзоряне поглинання світла). Таким чином, абсолютна зоряна величина дозволяє порівнювати питому світність небесних об'єктів у заданому діапазоні спектра.

Як і видимі, абсолютні зоряні величини можуть бути візуальними, фотографічними тощо.

Нехай видима зоряна величина деякої зорі дорівнює m , а відстань її від спостерігача становить r пс. За визначенням, зоряна величина з відстані 10 пк буде дорівнювати абсолютній зоряній величині M . Застосовуючи до m і M формулу, отримаємо:

$$0,4(m - M) = \lg \frac{E_0}{E} \quad (3.1)$$

де E і E_0 — відповідно освітленості від зорі з відстані r пс і 10 пк. Оскільки освітленості обернено пропорційні квадрату відстані, то

$$\frac{E_0}{E} = \frac{r^2}{100} \quad (3.2)$$

Підставляючи (3.2) в (3.1), отримаємо:

$$0,4(m - M) = 2 \lg r - 2, \quad (3.3)$$

або

$$M = m + 5 - 5 \lg r. \quad (3.4)$$

Формула (3.4) дозволяє знайти абсолютну зоряну величину M , якщо відома видима зоряна величина об'єкта m і відстань до нього r , виражена в парсеках. Якщо ж абсолютна зоряна величина відома з яких-небудь інших міркувань, то, знаючи видиму зоряну величину, легко знайти виражену в парсеках відстань:

$$\lg r = 1 + 0,2(m - M). \quad (3.5)$$

Величина $(m - M)$ називається модулем відстані.

Оскільки річний паралакс π світила і відстань r до нього в парсеках пов'язані співвідношенням $r = \frac{1}{\pi}$,

$$M = m + 5 + 5 \lg \pi. \quad (3.6)$$

Як приклад знайдемо абсолютну візуальну зоряну величину Сонця, видима візуальна зоряна величина якого $m_{\odot} = -26^m,72$. Підставляючи $m_{\odot}$ і $\lg r_{\odot}$ у формулу (3.6), отримуємо абсолютну зоряну величину Сонця:

$$M_{\odot} = -26^m,72 + 5^m + 26^m,57 = 4^m,85.$$

Запитання до учнів у ході викладу нового матеріалу

1. Як би змінилася поверхнева яскравість туманності Оріона, якби вона була розташована ближче до земного спостерігача?
2. Які астрономічні методи визначення відстаней до об'єктів Сонячної системи ви знаєте? Оцініть точність цих методів.
3. Як залежить видима яскравість зорі від: відстані? прозорості міжзоряного простору?
4. Який діапазон можливої світності у зір?

III. ЗАКРІПЛЕННЯ НОВОГО МАТЕРІАЛУ

Учні під керівництвом вчителя розв'язують задачі.

1. Абсолютна зоряна величина зорі $M = +1^m$. Чому дорівнює її видима зоряна величина? Чи можна цю зорю спостерігати на небі неозброєним оком?
2. Випромінювання будь-якого небесного об'єкта характеризується світловим потоком або освітленістю, які вимірюються у ватах або ватах на квадратний метр (CI). Чому в астрофізиці також використовують поняття «блиск» та «зоряна величина»?
3. Чи можна вимірювати блиск зорі у децибелах?
4. Річний паралакс Полярної зорі становить $0,003''$. Яка відстань до цієї зорі?

Що ми дізналися на уроці

- Видима зоряна величина — міра того, наскільки яскравою виглядає зоря на зорному небі.
- Абсолютна зоряна величина — це міра світності, яка показує, скільки світла зоря випромінює у простір.
- Зоряний паралакс зменшується відповідно до збільшення відстані до зорі.
- Відстань до зір можна визначити за допомогою формули

$$r = \frac{1}{\pi} \text{ (пк)}.$$

- Величини відстаней в астрономії: астрономічні одиниці, парсек, світлові роки.
- Різниця блиску двох об'єктів в 1 зоряну величину означає, що відношення їхнього блиску складає приблизно 2,5. Різниця у 5 зоряних величин відповідає різниці в яскравості рівно в 100 разів
- За допомогою формули $M = m + 5 + 5 \lg \pi$ можна визначити абсолютну зоряну величину.

IV. ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ

1. Читати § 3 (п. 4, 5, 6).

Урок 4/І–3

Тема. Точки і лінії небесної сфери. Залежність висоти полюса світу від географічної широти місця спостереження. Горизонтальна та екваторіальна системи координат. Явища, пов'язані з добовим обертанням Землі: схід та захід світил, кульмінації світил (моменти кульмінації та висоти). Зоряні карти

Цілі:

- *навчальна:* сформувати в учнів поняття небесної сфери як моделі для вивчення явища добового руху світил, ввести її основні елементи — точки, кола, лінії (горизонт, полуденна лінія, небесний меридіан, небесний екватор, екліптика, зеніт, надир, полюс, вісь світу, точки рівнодення та сонцестояння); ознайомити з екваторіальною системою координат, навчити визначати координати зір за картою зоряного неба;
- *розвивальна:* з метою розвитку уявлень учнів про навколишній світ розкрити аналогію між землею кулею і небесною сферою, продовжити розвиток просторової орієнтації з метою розширення кругозору учнів, висвітлити питання видимого руху зір на різних широтах;
- *виховна:* показати єдність законів природи, пояснити закономірності руху зір з наукового погляду, наголосити на необхідності вивчення даної теми для практичних потреб людини.

Нові поняття: небесна сфера, вісь світу, полюси світу, небесний екватор, небесний меридіан, зеніт, надир, кульмінація, схилення, пряме сходження, небесний екватор, екліптика.

- *Учні повинні мати уявлення:* про небесну сферу та її основні лінії і точки; положення світил.
- *Учні повинні знати:* системи координат на небесній сфері, принцип введення екваторіальної системи координат, зв'язок висоти Полярної зорі з географічною широтою місця спостереження.
- *Учні повинні вміти:* показувати основні сузір'я, яскраві зорі, визначати екваторіальні координати зір за картою зоряного неба.
- *Міжпредметні зв'язки:* географія, геометрія, креслення.

Демонстрації:

- 1) Основні лінії і точки небесної сфери на моделях і зоряних картах.
- 2) Презентація «Небесна сфера».
- 3) Відеофрагмент «Зоряні орієнтири».

Технічні засоби навчання, наочне приладдя:

- 1) Мультимедійний проектор, комп'ютер, CD-презентація «Небесна сфера».
- 2) Рухомі карти зоряного неба.
- 3) Зображення сузір'їв на давніх картах зоряного неба, атлас «А-11» — с. 4–7.

Обладнання:

- 1) Комп'ютер.
- 2) Мультимедійний проектор, екран.
- 3) Презентація «Небесна сфера».
- 4) Відеофрагмент «Зоряні орієнтири».

План заняття

Час	Метод навчання	Зміст роботи	Наочне приладдя, ТЗН
0,5 хв	Бесіда	Організаційний момент Перевірка готовності учнів до уроку. Стимулювання діяльності учнів, забезпечення їхньої загальної готовності, забезпечення своєчасного й організованого початку уроку	
5 хв	Робота з тестами	Перевірка домашнього завдання Перевірка правильності виконання домашнього завдання	Робочий зошит з астрономії
2 хв.	Бесіда	Актуалізація знань учнів	
20 хв	Лекція	Пояснення нового матеріалу 1) Небесна сфера. Основні лінії і точки небесної сфери. 2) Системи небесних координат. 3) Залежність висоти полюсу світу від географічної широти місця спостереження. 4) Явища, пов'язані з добовим обертанням Землі: схід та захід світил, кульмінації світил (моменти кульмінації та висоти). 5) Зоряні карти і каталоги	
7 хв		Закріплення нового матеріалу Робота з картою зоряного неба, розв'язування задач	
		Домашнє завдання Читати § 4 (п. 1, 2), 5	

ХІД УРОКУ

І. ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ МОМЕНТ

ІІ. АКТУАЛІЗАЦІЯ ЗНАНЬ УЧНІВ

1. Що таке астрометрія? Які розділи астрометрії ви знаєте? Що вони вивчають?
2. Як розвивалася астрометрія? Які вчені зробили найбільший внесок у її розвиток?
3. Як люди застосовують знання з астрометрії?
4. Які кутомірні інструменти ви знаєте? Як вони влаштовані і для чого призначені?
5. Які явища природи ми називаємо космічними явищами? небесними явищами?
6. Які небесні явища виникають внаслідок космічних явищ:
а) обертання Землі навколо своєї осі; б) обертання Місяця навколо Землі; в) обертання Землі навколо Сонця?
7. Як довести, що: а) Земля кругла; б) Земля обертається навколо своєї осі; в) Земля обертається навколо Сонця?

ІІІ. ПОЯСНЕННЯ НОВОГО МАТЕРІАЛУ

1. Небесна сфера. Основні лінії і точки небесної сфери

Небесні світила — проєкції космічних тіл на небесну сферу. Завдяки величезній віддаленості від Землі небесні світила здаються такими, ніби вони знаходяться на однаковій відстані від спостерігача. Необхідність пояснення видимого руху і визначення положення світил призвела до виникнення поняття небесної сфери.

Небесною сферою називається уявна допоміжна сфера довільного радіуса, на яку проєктуються усі світила так, як їх бачить спостерігач у визначений момент часу з визначеної точки простору.

Верхня точка перетинання небесної сфери із прямовисною лінією, що проходить через її центр, називається **зенітом** (Z), нижня точка — **надиром** (Z'). Велике коло небесної сфери, площина якого перпендикулярна до прямовисної лінії, називається **математичним**, чи **істинним**, **горизонтом** (рис. 4.1).

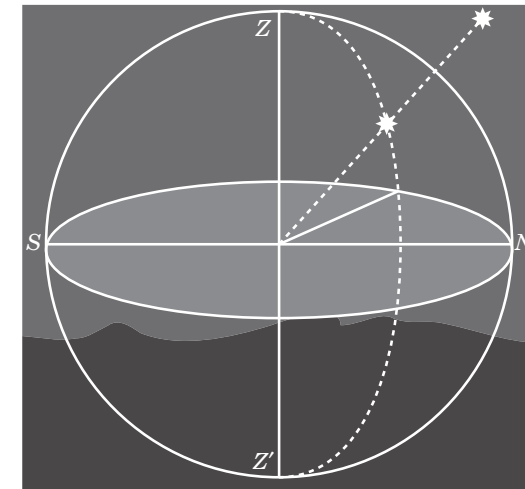


Рис. 4.1. Небесна сфера: «канонічне» зображення в площині небесного меридіана

Десятки тисяч років тому було помічено, що видиме обертання сфери відбувається навколо деякої невидимої осі. Насправді видиме обертання неба зі сходу на захід є наслідком обертання Землі із заходу на схід.

Діаметр небесної сфери, навколо якого відбувається її обертання, називається **віссю світу**. Вісь світу збігається з віссю обертання

Землі. Точки перетинання осі світу з небесною сферою називаються **полюсами світу** (рис. 4.2).

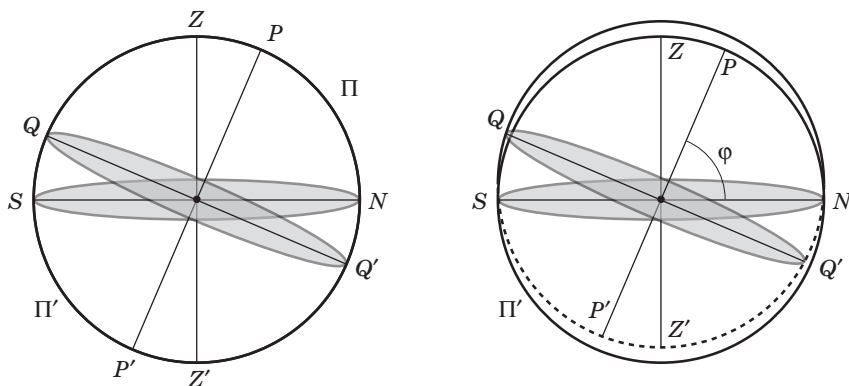


Рис. 4.2. Небесна сфера:
геометрично правильне зображення в ортогональній проекції

Кут нахилу осі світу до площини математичного горизонту (висота полюса світу) дорівнює куту географічної широти місцевості.

Велике коло небесної сфери, площина якого перпендикулярна до осі світу, називається **небесним екватором** (QQ').

Велика окружність, що проходить через полюси світу і зеніт, називається **небесним меридіаном** ($PNQ'Z'P'SQZ$).

Площина небесного меридіана перетинається з площиною математичного горизонту по прямій **полуденній лінії**, що перетинається з небесною сферою у двох точках: **півночі** (N) і **півдня** (S).

Північний полюс світу знаходиться в сузір'ї Малої Ведмедиці, у $0,51^\circ$ від зорі α Малої Ведмедиці, що називається «Полярна зоря». Південний полюс світу знаходиться в малопомітному сузір'ї Октанта. Близькість Полярної зорі до Північного полюса світу дозволяє орієнтуватися й визначати широту місцевості за спостереженнями Полярної зорі.

Видимий річний рух Сонця на тлі зір відбувається по великій окружності небесної сфери — **екліптиці** (рис. 4.3).

Напрямок цього повільного руху (близько 1° у добу) протилежний до напрямку добового обертання Землі.

Вісь обертання Землі має постійний кут нахилу до площини обертання Землі навколо Сонця, що дорівнює $66^\circ 33'$. Цей кут ϵ між площиною екліптики і площиною небесного екватора для земного спостерігача становить: $\epsilon = 23^\circ 26' 25,5''$.

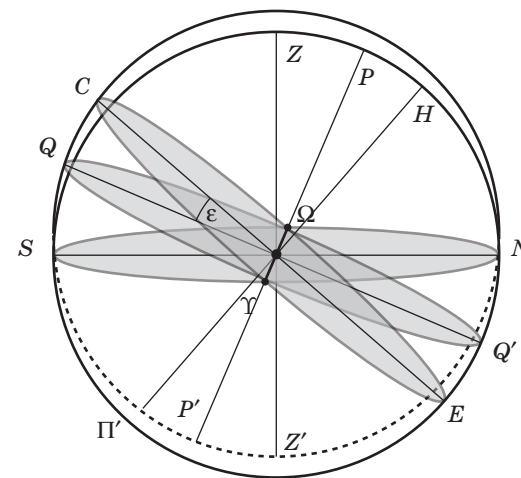


Рис. 4.3. Положення екліптики на небесній сфері

Точки перетинання екліптики з небесним екватором називаються точками **весняного** (γ) і **осіннього** (Ω) **рівнодення**. Точка весняного рівнодення знаходиться в сузір'ї Риб (донедавна — у сузір'ї Овна), дата весняного рівнодення — 20(21) березня. Точка осіннього рівнодення знаходиться в сузір'ї Діви (донедавна в сузір'ї Терезів); дата осіннього рівнодення — 22(23) вересня.

Точки, що відстоять на 90° від точок весняного рівнодення, називаються точками **сонцестоянь**. Літнє сонцестояння припадає на 22 червня, зимове сонцестояння — на 22 грудня.

Наступний етап уроку присвячений початку формування системи понять про космічні і небесні явища.

Учні повинні засвоїти, що умови видимості світил залежать від положення спостерігача на поверхні Землі і від часу спостереження; виклад цього матеріалу слід супроводжувати відповідними демонстраціями на моделі небесної сфери.

Кульмінацією світила називається небесне явище проходження світила через небесний меридіан.

Вісь світу поділяє небесний меридіан на 2 частини — північну і південну. У північній півкулі у верхній кульмінації світило перетинає північну частину небесного меридіана ближче до зеніту; у нижній кульмінації світило перетинає південну частину небесного меридіана ближче до надира. Момент верхньої кульмінації Сонця називається **астрономічним полуднем**; момент нижньої кульмінації Сонця називається **астрономічною північчю**.

Добові рухи світил відбуваються по добових паралелях (рис. 4.4).

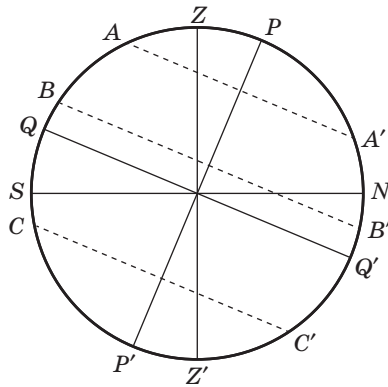


Рис. 4.4. Небесна сфера: небесний меридіан і добові паралелі світил: світила A, B, C у верхній кульмінації; світила A', B', C у нижній кульмінації; світило A — те, що не заходить, світило B — те, що сходить, і те, що заходить, світило C — те, що не сходить

На полюсах Землі добові паралелі світил (за винятком Місяця і Сонця) паралельні до математичного горизонту. Усі світила (крім Сонця і Місяця) є такими, що не заходять або не сходять. Небесний екватор паралельний (збігається) з математичним горизонтом. Верхня і нижня кульмінації збігаються (рис. 4.5, а).

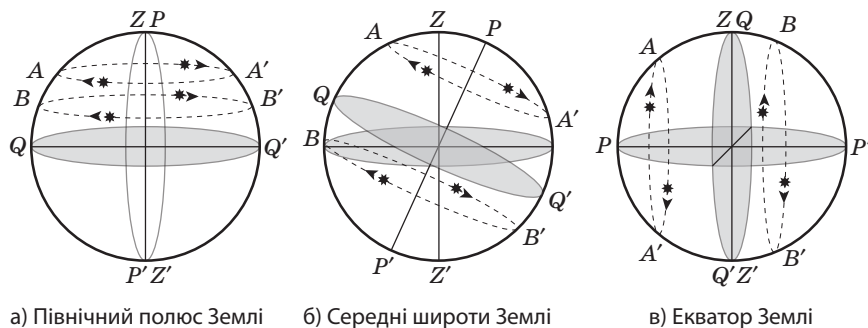


Рис. 4.5. Вигляд небесної сфери та умови видимості з різних точок земної поверхні

У середніх широтах Землі небесний екватор перетинається з математичним горизонтом під кутом $90^\circ - \varphi$ (рис. 4.5, б).

На екваторі Землі добові паралелі небесних світил перпендикулярні до математичного горизонту. Усі світила є такими, що схо-

дять і заходять. Верхня кульмінація відбувається поблизу зеніту, нижня — поблизу надіра (рис. 4.5, в).

Рух Сонця екліптикою пов'язаний зі зміною пір року на Землі і кліматичних поясах. У Північній півкулі астрономічна весна настає з перетинанням Сонцем небесного екватора 20(21) березня. Шляхи Сонця над і під горизонтом рівні, тому однакова і тривалість дня і ночі. 22 червня Сонце розташоване найдалі від екватора до півночі — день літнього сонцестояння, початок астрономічного літа. 22 грудня в день зимового сонцестояння Сонце відходить якомога далі до півдня від екватора — день найкоротший, опівдні Сонце стоїть низько над горизонтом — початок астрономічної зими.

Потрібно звернути увагу учнів на небесні явища, породжені обертанням Землі навколо Сонця: спостерігачеві здається, що Сонце протягом року переміщається по небесній сфері уздовж екліптики серед зодіакальних сузір'їв; постійній зміні полуденної висоти, положення точок сходу і заходу Сонця, тривалість дня і ночі, зміна виду зоряного неба протягом року.

Виклад матеріалу має супроводжуватися відповідними демонстраціями на карті зоряного неба, показом моделі сфери і телурію.

2. Системи небесних координат

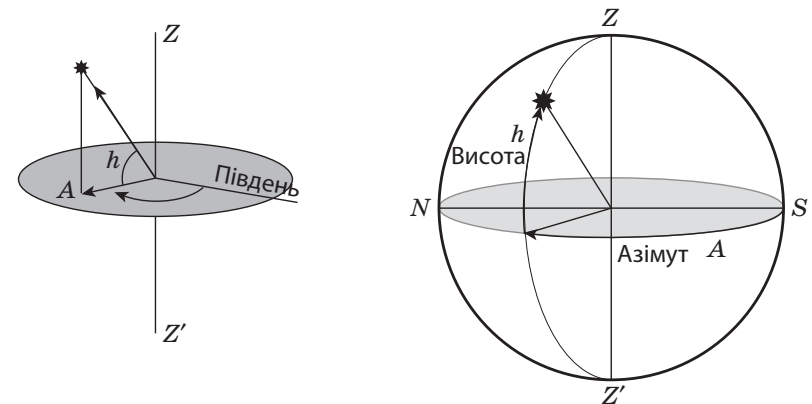


Рис. 4.6

Найпростішою із систем небесних координат є **горизонтальна система**. У ній основною площиною є площина математичного горизонту, а нуль — пунктом — точка півдня S . Однією з координат є висота світила над горизонтом. Вона вимірюється дугою вертикального кола від математичного горизонту до світила і по-

значається буквою h (див. рис. 4.6). Висота світила вимірюється в градусах від 0° до 90° . Замість висоти h у цій системі вимірюють зенітну відстань світила z , причому очевидно $z = 90 - h$.

Положення вертикального кола на небесній сфері визначається іншою координатою — азимутом світила A . Азимутом світила називається вимірювана уздовж математичного горизонту кутова відстань від точки півдня S до вертикального кола, що проходить через це світило.

Астрономічний азимут A вимірюється в градусах від 0° до 360° , починаючи від точки півдня S до заходу за годинниковою стрілкою.

Очевидно, що горизонтальна система координат є найбільш простою і зручною для вимірів, особливо під час експедицій.

Недоліком її є те, що в процесі добового обертання небесної сфери обидві координати світила постійно змінюються.

В **екваторіальній системі координат** основною площиною є площина небесного екватора, а основною точкою — точка перетину небесного меридіана з екватором (у першій системі) чи точка весняного рівнодення (у другій системі екваторіальних координат).

Однією з координат є схилення світила, що позначається грецькою буквою δ . Це кутова відстань світила від площини небесного екватора, вимірювана уздовж великого кола, що проходить через світило і полюс світу (кола схилень або годинникового кола). Світила, що знаходяться в північній півкулі, мають схилення від 0 до $+90^\circ$. У процесі добового обертання небесної сфери ця координата для далеких світил залишається незмінною.

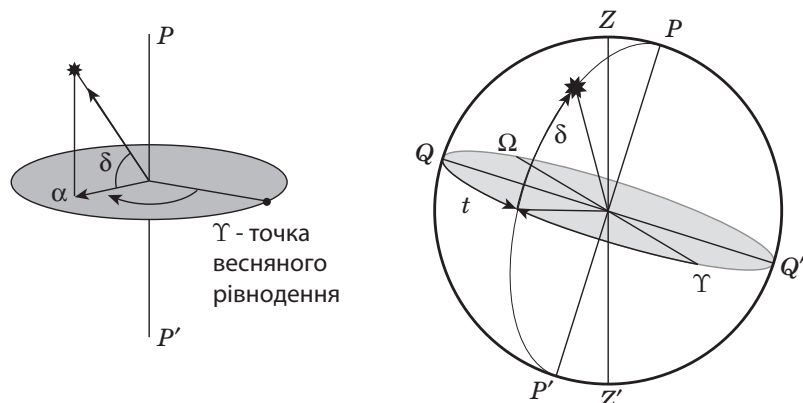


Рис. 4.7

Друга координата в екваторіальних системах визначається у подвійний спосіб. Під час спостережень зручніше вимірювати кутову відстань кола схилення світила від південної сторони меридіана. Ця дуга небесного екватора називається годинним кутом, позначається буквою t і вимірюється в одиницях часу (години, хвилини, секунди). У процесі добового обертання небесної сфери годинний кут світила постійно росте.

Ця обставина робить таку координату непридатною для складання зоряних карт і каталогів. Ось чому в екваторіальній системі введена ще одна координата — пряме сходження світила α — кутова відстань кола схилення світила від точки весняного рівнодення, відліченого уздовж небесного екватора, у бік, протилежний видимому добовому обертанню небесної сфери (зазвичай вимірюється в годинній мірі від 0^h до 24^h).

Екліптичною системою координат зручно скористатися під час вивчення руху Місяця і планет. Основною площиною тут є площина екліптики.

Велике коло небесної сфери, що проходить через полюси екліптики і світило, називається колом широти. Кутова відстань по колу широти від екліптики до світила називається астрономічною, або екліптичною, широтою світила. Позначається вона грецькою буквою β і для північної півкулі змінюється від 0° до $+90^\circ$.

Кутова відстань по екліптиці від точки весняного рівнодення до кола широти світила називається астрономічною (екліптичною) довготою світила, що позначається буквою λ і відлічується від 0° до 360° у бік видимого річного руху Сонця.

Для астрономів давнини і середньовіччя площина екліптики була «більш зримою», ніж площина екватора: адже вона начебто керувала рухом Сонця, Місяця і планет. Тому, складаючи списки зір, у яких зазначалися їхні координати (зоряних каталогів), аж до середини XVII століття використовували саме екліптичні координати.

Після виробництва телескопів, коли було винайдено паралактичне монтування, що дозволяє вести інструмент слідом за світилом під час його добового руху, переваги екваторіальної системи координат стали очевидними. І вже 1661 р. видатний польський астроном Ян Гевелій (1611–1687) склав зоряний каталог, у якому були зазначені екваторіальні координати зір.

Після введення основних понять необхідно розглянути, як за допомогою карти зоряного неба визначають координати зір.

Небесна сфера проектується на площину, таким чином, виходить карта зоряного неба. Ця карта зображує 85 % усієї небесної сфери. Тому вид сузір'їв трохи спотворений проекцією.

Давайте знайдемо Північний полюс світу, що спроектований у центрі самої карти.

Показати: небесний екватор, схилення, пряме сходження.

Напрямок земної осі в просторі надзвичайно повільно переміщається по поверхні конуса, роблячи оберт приблизно за 26 000 років. Земна вісь повільно описує в просторі конус — це явище називається прецесією.

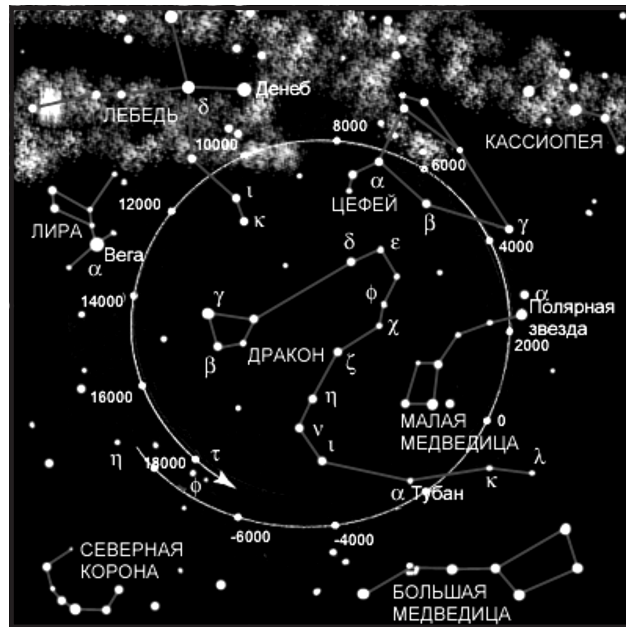


Рис. 4.8. (Полярна зоря) Вега (буде полярною в 14000 р.)
Тубан — була полярною у 3000 р. до н. е.

Прецесія земної осі — наслідок дії на Землю неоднакових сил притягання з боку Сонця і Місяця через екваторіальне здуття Землі.

У міру того як земна вісь прецесіює, змінюється положення полюса світу, отже, полярними стають інші зорі. Точка весняного рівнодення — нульова точка відліку прямого сходження — переміщається екліптикою в західному напрямку зі швидкістю 50 кутових секунд за рік чи 30° (ціле зодіакальне сузір'я) за 2150 років. Ось чому через тисячоріччя застаріють усі сучасні зоряні карти.

3. Практична робота під керівництвом вчителя

Визначити екваторіальні координати зір.

1. Сиріус (α В. Пса) — найяскравіша зоря неба і найближча до Землі з усіх нанесених на шкільну карту (9 св. років).
2. ϵ Візника — одна з найбільших серед вивчених зір (2000 діаметрів Сонця).
3. τ Кита — найбільш подібна до Сонця з навколишніх зір.
4. β Оріона (Ригель) — найвіддаленіша з нанесених на карту (1100 св. років).

У якому сузір'ї знаходиться:

1. Галактика М31, зображена на обкладинці підручника, що має координати $\alpha = 0^h 40^m$, $\delta = +41^\circ$.
2. Центр галактики, він же — джерело радіовипромінювання — $\alpha = 17^h 40^m$.
3. Пилова туманність «Кінська голова» — $\alpha = 5^h 38^m$, $\delta = -2^\circ$.
4. Крабоподібна туманність — $\alpha = 5^h 38^m$, $\delta = +21^\circ$.
5. Туманність «Рибальська сітка» — $\alpha = 20^h 50^m$, $\delta = +31^\circ$.

4. Залежність висоти світила у верхній кульмінації

Знайдемо залежність між висотою h світила M у верхній кульмінації, його схиленням δ і широтою місцевості φ . Для цього скористаємося рис. 4.10, на якому зображена прямовисна лінія ZZ_1 , вісь світу, проекції небесного екватора QQ_1 і лінія горизонту NS на площину небесного меридіана ($PZQSP_1Z_1Q_1N$).

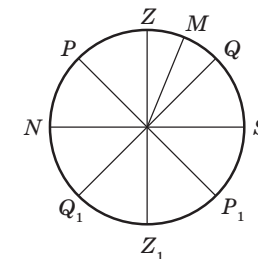


Рис. 4.10

Ми знаємо, що висота полюса світу над горизонтом дорівнює географічній широті місця, тобто $h_p = \varphi$. Отже, кут між полуденною лінією NS і віссю світу PP_1 дорівнює широті місцевості φ , тобто

$$\angle PON = \varphi = h_p,$$

$$\angle QOZ = \angle QOP - \angle ZOP = 90^\circ - \angle ZOP,$$

$$\begin{aligned}\angle PON &= \angle ZON - \angle ZOP = 90^\circ - \angle ZOP, \\ \Rightarrow \angle QOZ &= \angle PON = \varphi, \\ \angle MOS &= 90^\circ - \angle ZOQ + \angle MOQ, \\ h &= 90^\circ - \varphi + \delta.\end{aligned}$$

З цієї формули видно, що географічну широту можна визначити, вимірюючи висоту будь-якого світила в кульмінації (у верхній). При цьому слід враховувати, що якщо світило в момент кульмінації знаходиться на південь від екватора, то його схилення негативне.

Приклади розв'язання задач

1. На якій висоті відбувається верхня кульмінація зорі Спіка в місті, географічна широта якого становить ?

Дано: Спіка, $\varphi = 50^\circ$

Знайти: h — ?

Розв'язання

Спіка — α Діви, $\delta = -10^\circ 54'$.

$$h = 90^\circ - \varphi + \delta = 90^\circ - 50^\circ - 10^\circ 54' = 30^\circ - 54' = 29^\circ 06'.$$

Відповідь: $h = 29^\circ 06'$.

2. Яке схилення зорі, якщо її верхня кульмінація в Єревані, географічна широта якого дорівнює 40° , відбувається на висоті 37° ?

Дано: $h = 37^\circ$, $\varphi = 40^\circ$

Знайти: δ — ?

Розв'язання

$$\begin{aligned}h &= 90^\circ - \varphi + \delta \\ \delta &= h - 90^\circ + \varphi = 37^\circ - 90^\circ + 40^\circ = 77^\circ - 90^\circ = -13^\circ\end{aligned}$$

Відповідь: $\delta = -13^\circ$

3. Розташуйте в порядку зменшення блиску такі зорі: Антарес (1-а зоряна величина); Канопус (1-а зоряна величина), Полярна (2-а зоряна величина), Вега (0-а зоряна величина) Канопус, Вега, Антарес, Полярна.

Явища, пов'язані з добовим обертанням Землі:

схід та захід світил, кульмінації світил (моменти кульмінації та висоти)

Обертання Землі навколо осі є причиною:

- відхилення на схід падаючих тіл;
- існування сила Коріоліса.

Воно також проявляється:

- у добовому обертанні небесної сфери навколо осі світу зі сходу на захід;
- у сході та заході світил;
- у кульмінації світил;
- у зміні дня і ночі;
- у добовій аберації світил;
- у добовому паралаксі світил.

Запитання до учнів у ході викладу нового матеріалу:

1. Які системи географічних координат вам відомі?
2. Як визначається точка зеніту?
3. Як вводяться точки півдня та півночі?
4. Чому горизонтальна система координат не використовується в зоряних каталогах?
5. Чому на картах не позначені азимути світил?
6. Чому на картах не позначені висоти світил?
7. Назвіть дати початку: астрономічної весни, астрономічного літа, астрономічної осені, астрономічної зими. Як інакше називаються ці моменти?

IV. ЗАКРІПЛЕННЯ НОВОГО МАТЕРІАЛУ

Учні під керівництвом вчителя розв'язують задачі.

1. Визначте екваторіальні координати зір: а) Капели, α Візничого; б) Сиріуса, α Великого Пса; в) Проціона, α Малого Пса; г) Арктура, α Волопаса; д) Регула, α Лева; е) Веги, α Ліри; ж) Альтаіра, α Орла; з) Фомальгаута, α Південної Риби.
2. Схилення Сиріуса, найяскравішої зорі неба, дорівнює $-16^\circ 41'$. На якій максимальній висоті $h_{\max}$ над горизонтом видна ця зоря, якщо спостерігач знаходиться в Києві на широті $50^\circ 25'$?
3. На якій географічній широті можна спостерігати всі об'єкти зоряного неба?

Що ми дізналися на уроці?

- Небесною сферою називається уявлювана допоміжна сфера довільного радіуса, на яку проектується усі світила так, як їх бачить спостерігач у визначений момент часу з визначеної точки простору.
- Кут нахилу осі світу до площини математичного горизонту (висота полюса світу) дорівнює куту географічної широти місцевості.

- Точки перетинання екліптики з небесним екватором називаються точками весняного (γ) і осіннього (Ω) рівнодень. Точка весняного рівнодення знаходиться в сузір'ї Риб, дата весняного рівнодення — 20(21) березня. Точка осіннього рівнодення знаходиться в сузір'ї Діви; дата осіннього рівнодення — 22(23) вересня.
- Точки, що відстоять на 90° від точок весняного рівнодення, називаються точками сонцестоянь. Літнє сонцестояння припадає на 22 червня, зимове сонцестояння — на 22 грудня.
- Горизонтальна система координат: висота світила h , азимут світила A .
- Екваторіальна система координат: схилення світила δ , пряме сходження α .
- Момент проходження світила через небесний меридіан — кульмінація. Момент верхньої кульмінації центра Сонця називається справжнім полуднем, а момент нижньої кульмінації — справжньою північчю.
- $h = 90^\circ - \varphi + \delta$ — формула для обчислення висоти світила за його схиленням та широтою місця спостереження.

V. ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ

1. Читати § 4 (п. 1, 2), 5.
2. Завдання письмово стор. 27 № 5.1.

Урок 5/І-4

Тема. Видимий рух Сонця. Екліптика. Невідповідність астрологічних уявлень знанням про екліптику. Псевдонауковість астрології, критика астрологічних поглядів і передбачень. Практична робота № 1

Цілі:

- *навчальна:* закріпити в учнів поняття небесної сфери як моделі для вивчення явища добового руху світил, перевірити знання учнів з даної теми, а саме: знання основних елементів небесної сфери — точки, кола, лінії (горизонт, полуденна лінія, небесний меридіан, небесний екватор, екліптика, зеніт, надир, полюс, вісь світу, точки рівнодення та сонцестояння), перевірити вміння учнів визначати координати зір за картою зоряного неба; повторити поняття екліптики;
- *розвивальна:* продовжити формування наукового світогляду шляхом розгляду процесів та явищ, які відбуваються під час руху Землі навколо Сонця; розвиток наукових уявлень про Всесвіт;
- *виховна:* з метою формування діалектичного світогляду показати пізнаваність світу, діалектичний шлях пізнання — від живого споглядання до абстрактного мислення і від нього до практики; показати важливість знань про природу небесних тіл, їхній рух і розвиток для формування діалектико-матеріалістичного світогляду і практичної діяльності людини; ознайомити учнів з деякими філософськими і загальнонауковими ідеями і поняттями (матеріальність, єдність і пізнаваність світу, просторово-часові масштаби і властивості Всесвіту, універсальність дії фізичних законів у Всесвіті).

Нові поняття: небесна сфера, вісь світу, полюси світу, небесний екватор, небесний меридіан, зеніт, надир, кульмінація, схилення, пряме сходження, небесний екватор, екліптика.

- *Учні повинні мати уявлення:* про небесну сферу та її основні лінії і точки; положення світил.
- *Учні повинні знати:* системи координат на небесній сфері, принцип введення екваторіальної системи координат, зв'язок висоти Полярної зорі з географічною широтою місця спостереження.
- *Учні повинні вміти:* показувати основні сузір'я, у тому числі зодіакальні, яскраві зорі; визначати екваторіальні координати зір за картою зоряного неба; характеризувати відмінності між астрономією і астрологією; описувати видимий рух Сонця відносно Землі протягом року; пояснювати зміну дня і ночі та пір року, різницю між зодіакальними сузір'ям і знаком Зодіаку; обґрунтовувати ненауковість астрології; розв'язувати задачі на знаходження висот світил за заданими екваторіальними координатами і навпаки.
- *Міжпредметні зв'язки:* географія, геометрія, креслення, історія.

Демонстрації:

- 1) Основні лінії і точки небесної сфери на моделях і зоряних картах.
- 2) Презентація «Небесна сфера».
- 3) Відеофрагмент «Астрологія брехні».

Технічні засоби навчання, наочне приладдя:

- 1) Мультимедійний проектор, комп'ютер, CD-презентація «Небесна сфера».
- 2) Рухомі карти зоряного неба.
- 3) Зображення сузір'їв на давніх картах зоряного неба, атлас «А-11» — с. 4–7.

Обладнання:

- 1) Комп'ютер.
- 2) Мультимедійний проектор, екран.
- 3) Презентація «Небесна сфера».
- 4) Відеофрагмент «Астрологія брехні».

План заняття

Час	Метод навчання	Зміст роботи	Наочне приладдя, ТЗН
0,5 хв	Бесіда	Організаційний момент Перевірка готовності учнів до уроку. Стимулювання діяльності учнів, забезпечення їхньої загальної готовності, забезпечення своєчасного й організованого початку уроку	
1 хв	Бесіда	Актуалізація знань учнів	
14 хв	Бесіда	Пояснення нового матеріалу 1) Видимий рух Сонця. Екліптика 2) Невідповідність астрологічних уявлень знанням про екліптику. Псевдонауковість астрології, критика астрологічних поглядів і завбачень	
27 хв		Практична робота № 1 Робота з рухомою картою зоряного неба, розв'язування задач	
2 хв		Підбиття підсумків уроку	
1 хв		Домашнє завдання 1. Читати § 7 (п. 1–4) 2. Завдання письмово стор. 35 № 7.1	

ХІД УРОКУ**I. ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ МОМЕНТ****II. АКТУАЛІЗАЦІЯ ЗНАНЬ УЧНІВ**

1. Що таке астрометрія? Які розділи астрометрії ви знаєте? Що вони вивчають?
2. Як розвивалася астрометрія? Які вчені зробили найбільший внесок в її розвиток?
3. Як люди застосовують знання з астрометрії?
4. Які кутомірні інструменти ви знаєте? Як вони влаштовані і для чого призначені?
5. Які явища природи ми називаємо космічними явищами? небесними явищами?

6. Які небесні явища виникають внаслідок космічних явищ: а) обертання Землі навколо своєї осі; б) обертання Місяця навколо Землі; в) обертання Землі навколо Сонця?
7. Як довести, що: а) Земля кругла; б) Земля обертається навколо своєї осі; в) Земля обертається навколо Сонця?

III. ПОЯСНЕННЯ НОВОГО МАТЕРІАЛУ**1. Видимий рух Сонця. Екліптика**

У результаті руху Землі по своїй орбіті спостерігачеві на Землі здається, що Сонце постійно переміщується по небесній сфері відносно нерухомих зір. Правда, спостерігати рух Сонця відносно зір неможливо, тому що (рис. 5.1) зір у денний час не видно. Перерахуємо деякі переконливі факти про переміщення Сонця відносно зір:

1. У різний час року опівночі видно різні зорі.
2. Меридіональна висота Сонця протягом року змінюється.
3. Змінюються також азимути сходу і заходу Сонця, а також тривалість дня і ночі.

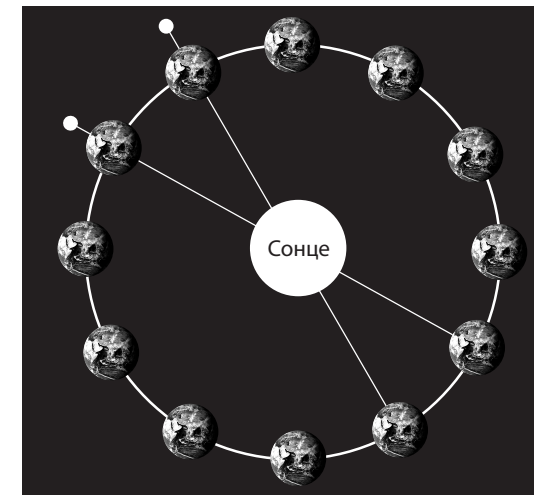


Рис. 5.1

Екліптика — це видимий річний шлях, яким переміщується Сонце по небесній сфері. Екліптика — це проекція площини земної орбіти на небесну сферу. Оскільки площина небесного екватора — це продовження земного екватора, а площина екліптики — це площина орбіти Землі, то площина екліптики складає з площиною небесного екватора кут $\varepsilon = 23^\circ 27'$ (рис. 5.2).

Точкою Овна (γ) називається точка на небесній сфері, у якій Сонце у своєму видимому річному русі змінює своє схилення з південного на північне. У цю точку Сонце щороку приходиться 21 березня — у день весняного рівнодення.

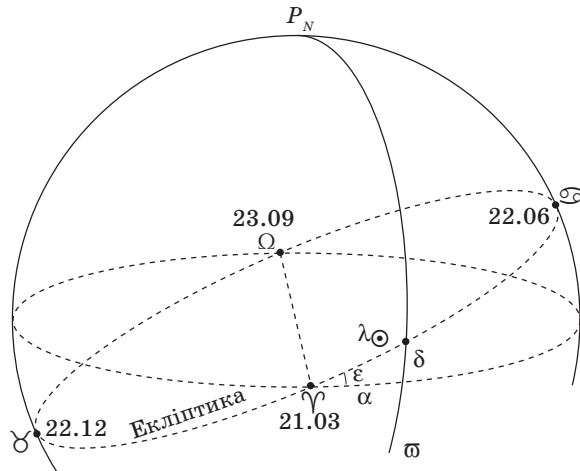


Рис. 5.2

Точка Овна задає точку відліку ще для однієї координати — для прямого сходження. Пряме сходження (α) — це дуга небесного екватора від точки Овна до меридіана світила, у бік зворотних західних часових кутів (або якщо дивитися з боку північного полюса, то проти годинникової стрілки). Саме в цьому напрямку по небесній сфері переміщуються Сонце, Місяць і, отже, збільшується пряме сходження цих світил.

2. Зміна екваторіальних координат Сонця

Протягом року Сонце по небесній сфері проходить через 4 точки.

Дата	Назва	Точка	$\alpha_{\odot}$	$\delta_{\odot}$
21 березня	День весняного рівнодення		0°	0°
22 червня	День літнього сонцестояння		90°	$23,5^{\circ}$
23 вересня	День осіннього рівнодення		180°	0°
22 грудня	День зимнього сонцестояння		270°	$-23,5^{\circ}$

Тропічним роком називається проміжок часу між двома послідовними проходженнями центра Сонця через точку Овна. Його тривалість складає 365,2422 доби. Цей період покладений в основу календарного року. Уточнення величини тропічного року залишило свій слід в історії астрономії у вигляді єгипетського року, юліанського та григоріанського стилів.

Для наближених розрахунків необхідно знати добові зміни координат Сонця. Пряме сходження Сонця протягом року змінюється майже рівномірно. Добова швидкість зміни прямого сходження Сонця становить $\Delta\alpha_{\odot} = 360^{\circ}/365,2422 \approx 1^{\circ}/\text{добу}$.

Схилення Сонця протягом року змінюється нерівномірно (рис. 5.3).

- $\Delta\alpha_{\odot} = 0,4^{\circ}/\text{добу}$ протягом 1 місяця до і 1 місяця після днів рівнодень;
- $\Delta\alpha_{\odot} = 0,1^{\circ}/\text{добу}$ протягом 1 місяця до і 1 місяця після днів сонцестоянь;
- $\Delta\alpha_{\odot} = 0,3^{\circ}/\text{добу}$ в 4 проміжних місяці, що залишилися.

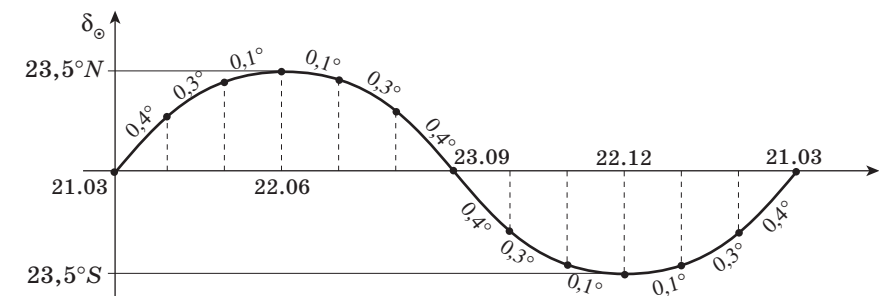


Рис. 5.3

3. Невідповідність астрологічних уявлень знанням про екліптику. Псевдонауковість астрології, критика астрологічних поглядів і завбачень

Астрологія — це віра, яка говорить мовою науки, і це наука, яка не спроможна нічим, окрім віри, підтвердити свої принципи.

Буша-Леклерк

Астрологія — псевдонаукове, окультне вчення, що використовує віру в зв'язок між земними подіями і положеннями планет Сонячної системи.

Уже в нижньому палеоліті, зважаючи на сліди життєдіяльності людей, що дійшли до нас, почали спостерігати за небом. Тоді ж

були виділені сезони року. Є дані про те, що в мустьєрську епоху (бл. 40–100 тис. років тому) були зафіксовані найпростіші спостереження за рухом Сонця, а також початкові навички рахунку та геометричних побудов різними способами в різних районах Євразії. І інтенсивне збиральництво, і полювання вимагали уваги до просторово-часових орієнтирів, серед яких найважливішу роль відіграло небо, а на ньому — перш за все зоряні візерунки і рух Місяця, а також його зміни за фазами. Астрологія з моменту свого виникнення і аж до епохи Відродження вважалася науковою дисципліною, нерозривно пов'язаною з астрономією. Крім того, ці галузі тісно стикалися з математикою, так що терміни «астроном», «астролог» і «математик» були синонімами. Астрономія займалася спостереженням неба, математика — розрахунками руху небесних тіл і обчисленням даних для гороскопів, а астрологія — інтерпретацією отриманих даних. Лише в Новий час ці три дисципліни були остаточно розмежовані, оскільки астрології до цього часу було відмовлено в науковості. Однак історики науки визнають, що саме потреби астрології були протягом всієї історії Стародавнього світу і середніх віків головним стимулом для розвитку астрономії.

Багато розділів математики також зобов'язані своїм прогресом астрології. Це в першу чергу стосується сферичної геометрії, а також теорії логарифмів. У XX ст. особливо тісну співпрацю було налагоджено між астрологією та статистикою: статистичне підтвердження чи спростування астрологічних тверджень стало одним із провідних напрямів у сучасній «науці про зорі». Географія, космографія і морська навігація були пов'язані з астрологією на ранніх етапах свого існування — багато в чому завдяки нерозривному зв'язку астрології й астрономії.

Деякі прихильники астрології вважають, що планети і зорі впливають на людей та процеси на Землі. Тут немає нічого окультичного, все це можна розрахувати і навіть передбачити.

Припустімо, що Сонце, Місяць і планети Сонячної системи чинять на земні живі організми істотний вплив і що ступінь і якість цього впливу змінюються залежно від взаємного розташування небесних тіл.

З усіх видів фізичних взаємодій скільки-небудь серйозно можна говорити лише про гравітацію; інші поля, потоки частинок і випромінювання від зір і планет в околицях Землі настільки слабкі, що їх реєстрація навіть чутливими сучасними приладами вимагає чималих зусиль.

Будь-яке випромінювання повинне слабшати пропорційно квадрату відстані від відповідного світила, а приливний вплив — пропорційно кубу відстані. Тоді впливом зір можна знехтувати: навіть від найближчої зорі воно буде у 20 мільярдів разів слабкіше, ніж від Марса, а від останнього у кілька тисяч разів слабкіше, ніж від Місяця. З усіх небесних тіл Сонячної системи тільки Сонце і Місяць дійсно чинять на Землю істотний вплив.

Вплив інших планет виявляється зовсім незначним. До того ж цих впливів нескінченно багато. Електромагнітні і гравітаційні поля планет і зір, накладаючись одне на одного, утворюють так званий шум, який супроводжує кожну людину від зачаття до смерті, до якого людина пристосована і рівень якого відносно постійний.

Ніякого механізму і тим більше математичного апарату для опису гіпотетичного впливу небесних тіл, яке хоч скільки-небудь істотно впливало б на новонародженого, апологети науковості астрології не пропонують і запропонувати не можуть.

Найчастіше астрологи ігнорують більшість астрономічних, фізичних, біологічних та інших наукових даних, відомих на сьогоднішній день. У свою чергу, серйозна наука ігнорує астрологію.

Якщо ж припустити, що існують поки не відомі науці або маловивчені взаємодії між небесними тілами і людьми і що астрологія нагромадила емпіричні дані про ці впливи, то тоді наявність таких впливів, очевидно, має бути підтверджено також емпірично, тобто має бути показано, що результати астрологічних викладок відповідають дійсності і що це не випадкові збіги. Таким чином, обґрунтованість астрології повинна бути підтверджена статистично. Однак наявні дослідження доводять довільність і необґрунтованість астрологічних висновків.

Отже, якщо астрологію складно обґрунтувати і фізично, і статистично, то, можливо, вона все-таки стосується науки чи бодай психології? Дійсно, астролог розмовляє з клієнтом, виступає як психолог, а сам клієнт підлаштовує себе під гороскоп і приміряє на інших астрологічні описи. Відомий астролог Редьяр виступив пропагандистом астропсихології та акцентував увагу на розвитку закладених в людині якостей і потенціалу. Редьяр використовував ідеї Карла Густава Юнга, котрий запропонував так званий принцип синхроністичності. Грубо кажучи, згідно з цим принципом, будь-які ворожильні системи являють собою символічну мову опису цілісних систем, що розвиваються (людини, організації, країни тощо), і певним чином «працюють» синхронно з ними. Утім, як

вони «працюють» — невідомо. Тобто безпосереднього впливу небесних тіл, наприклад, на людину немає (або це несуттєво), але, знаючи стан Сонячної системи в конкретний момент, можна зрозуміти символічний зміст цього моменту і далі застосувати (в силу структурної подібності цілісних об'єктів) безпосередньо до людини.

Астрологія — найбільш зручна ворожільна система, тому що можна дізнатися положення небесних тіл у будь-який момент часу. Проте жодного обґрунтування своїх ідей Юнг не дав. Тут можна говорити тільки про те, що він сприйняв на віру відомий герметичний, окультний принцип «що вгорі, те і внизу».

Підіб'ємо підсумки. Астрологія не є наукою тому, що основні її положення неможливо ні довести, ні перевірити, їх просто приймають на віру і питання про достовірність не ставлять.

1. Неможливо довести зв'язок земних подій і якостей душі з положенням планет, а існуючі дослідження свідчать про зворотне.
2. Нізвідки не можна вивести, що певна планета з конкретним періодом обертання відповідає саме за той, а не інший параметр. Крім того, у різних традиціях одним і тим самим планетам дали різні якості.

Сформулювати і обґрунтувати астрологічну систему будь-якими або відомими науці засобами **неможливо**. В основі всієї будівлі астрології лежить віра, а точніше — марновірство в те, що планети визначають земні події та якості душі людини.

Запитання до учнів у ході викладу нового матеріалу

1. Визначте за картою, у якому сузір'ї Сонце перебуває найдовше протягом року, а в якому — найменше?
2. Що є причиною видимого зміщення Сонця відносно зір?

Що ми дізналися на уроці

- Екліптика — це видимий річний шлях, яким переміщається Сонце по небесній сфері.
- Екліптика — це проекція площини земної орбіти на небесну сферу.
- Площина екліптики складає з площиною небесного екватора кут $\varepsilon = 23^\circ 27'$.
- Точкою Овна (γ) називається точка на небесній сфері, у якій Сонце під час свого видимого річного руху змінює своє схилення з південного на північне (21 березня).
- Тропічним роком називається проміжок часу між двома послідовними проходження центра Сонця через точку Овна.

- Астрологія — псевдонаукове, окультне вчення, що використовує віру в зв'язок між земними подіями і положеннями планет Сонячної системи.

4. Практична (лабораторна) робота під керівництвом учителя

Виконують під час проведення вечірніх спостережень (див. наступну сторінку).

ІV. ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ

1. Читати § 7 (п. 1–4).
2. Завдання письмово стор. 35 № 7.1.

Лабораторна робота № 1

«Вивчення зоряного неба за допомогою рухомої карти»

Мета: _____

Обладнання: _____

ХІД РОБОТИ

Завдання 1. У _____ (вказіть своє рідне місце)

можна спостерігати сузір'я ...

У південній частині неба: _____

У східній частині неба: _____

Завдання 2. Знайти сузір'я, розташовані між північчю та півднем 10 жовтня о 21 годині.

Сузір'я: _____

Завдання 3. Знайдіть на карті зоряного неба сузір'я, у яких перебувають туманності, та перевірте, чи можна їх спостерігати неозброєним оком.

Завдання 5. Чи можна побачити Діви, Рака, Терезів у північ 15 вересня? Яке сузір'я перебуватиме в той же час поблизу горизонту на півночі?

Завдання 5. Які із перелічених сузір'їв: Мала Ведмедиця, Волопас, Візничий, Оріон для цієї широти будуть такими, що не заходять?

Завдання 6. Чи може для вашої широти 20 вересня Андромеда перебувати в зеніті? Коли?

Завдання 7. На карті зоряного неба знайдіть 5 сузір'їв: Кассіопея, Андромеда, Пегас, Лебідь, Ліра та визначте приблизно екваторіальні координати (схилення та пряме сходження) α -зір цих сузір'їв.

Назва	Схилення	Пряме сходження

Завдання 8. Яке сузір'я перебуває поблизу горизонту 5 травня опівночі?

Висновок: _____

Урок 6/І-5

Тема. Принципи вимірювання часу (шкали вимірювання і системи відліку). Зоряний час. Сонячний час: справжній і середній. Рівняння часу. Шкала всесвітнього часу. Шкала атомного часу. Координований всесвітній час. Системи відліку: місцевий, всесвітній, поясний час та зв'язок між ними. Лінія зміни дат. Літній та зимовий час

Цілі:

- *навчальна:* перевірити знання учнів з питань програмового матеріалу: основні лінії, кола і точки небесної сфери, визначення небесних координат; сформувати в учнів уявлення про співвідношення сонячного і зоряного часу, ввести поняття року як одиниці виміру часу руху Землі навколо Сонця, пояснити причину різної тривалості зоряної і сонячної доби, потребу введення літнього часу, потребу існування лінії зміни дат; ознайомити зі шкалами атомного та координованого часу;
- *розвивальна:* формувати вміння застосовувати знання теорії лічби часу для розрахунків місцевого, поясного, Всесвітнього, зоряного часу;
- *виховна:* з метою формування діалектичного світогляду показати пізнаваність світу, діалектичний шлях пізнання — від живого споглядання до абстрактного мислення і від нього до практики; показати важливість знань про природу небесних тіл, їхній рух і розвиток для формування діалектико-матеріалістичного світогляду і практичної діяльності людини; ознайомити учнів з деякими філософськими і загальнонауковими ідеями і поняттями (матеріальність, єдність і пізнаваність світу, просторово-часові масштаби і властивості Всесвіту, універсальність дії фізичних законів у Всесвіті).

Нові поняття: зоряний час, сонячний час, атомний час, координований Всесвітній час, місцевий, поясний час, лінія зміни дат.

- *Учні повинні мати уявлення:* методи і одиниці вимірювання часу, використання зоряного та сонячного часу.
- *Учні повинні знати:* принципи вимірювання і лічби часу, як здійснюється добовий та річний рух Сонця.
- *Учні повинні вміти:* пояснити причину різної тривалості зоряної і сонячної доби, потребу введення літнього часу, потребу існування лінії зміни дат; формулювати поняття справжньої сонячної доби, середнього Сонця, тропічного року, місцевого, поясного, Всесвітнього та зоряного часу; обґрунтовувати введення шкал атомного і координованого часу;
- *Міжпредметні зв'язки:* географія, фізика, історія.

Демонстрації:

- 1) Географічний глобус Землі.
- 2) Карта годинних поясів.
- 3) Зображення різних типів годинників.
- 4) Презентація «Що таке час?».

Технічні засоби навчання, наочне приладдя:

- 1) Мультимедійний проектор, комп'ютер, CD-презентація «Що таке час?».
- 2) Карта годинних поясів.
- 3) Зображення різних типів годинників, атлас «А-11» — с. 4–7.

Обладнання:

- 1) Комп'ютер.

- 2) Мультимедійний проектор, екран.
- 3) Презентація «Що таке час?».

План заняття

Час	Метод навчання	Зміст роботи	Наочне приладдя, ТЗН
0,5 хв	Бесіда	Організаційний момент Перевірка готовності учнів до уроку. Стимулювання діяльності учнів, забезпечення їхньої загальної готовності, забезпечення своєчасного й організованого початку уроку	
1 хв	Бесіда	Актуалізація знань учнів	
14 хв	Бесіда	Пояснення нового матеріалу 1) Загальні положення. 2) Зоряний та сонячний часи. 3) Одиниці вимірювання часу. 4) Різні системи відліку часу	
27 хв		Закріплення нового матеріалу Розв'язування задач	
2 хв		Підбиття підсумків уроку	
1 хв		Домашнє завдання 1. Читати § 6. 2. Завдання письмово стор. 30 № 6.1, 6.2	

ХІД УРОКУ

I. ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ МОМЕНТ

II. АКТУАЛІЗАЦІЯ ЗНАНЬ УЧНІВ

1. Які природні астрономічні процеси покладені в основу вимірювання часу?
2. Коли починається астрономічна весна?
3. Чому дні рівнодень мають такі назви?
4. Які види відліку часу вам відомі?

III. ПОЯСНЕННЯ НОВОГО МАТЕРІАЛУ

1. Загальні положення

На спостереженнях добового обертання небесного зводу і річного руху Сонця, тобто на обертанні Землі навколо осі та на обертанні Землі навколо Сонця засноване вимірювання часу.

Обертання Землі навколо осі відбувається майже рівномірно, з періодом, що дорівнює періоду обертання небесного зводу, який

досить точно може бути визначений зі спостережень. Тому за кутом повороту Землі від деякого початкового положення можна судити про час, який минув. За початкове положення Землі приймають момент проходження площині земного меридіана місця спостереження через обрану точку на небі, або, що одне і те саме, момент верхньої (або нижньої) кульмінації цієї точки на даному меридіані.

Тривалість основної одиниці — доби — залежить від обраної точки на небі.

В астрономії за такі точки приймають:

Точки відліку	Одиниці часу
а) точка весняного рівнодення	Зоряний час
б) центр видимого диска Сонця (справжнє Сонце)	Істинний сонячний
в) «середнє сонце» — фіктивна точка, положення якої на небі може бути обчислено теоретично для будь-якого моменту часу	Середній сонячний час

Тут необхідно відзначити, що ці різні назви часів, так само як і всі інші, належать до одного і того самого реального і об'єктивно існуючого часу. Іншими словами, ніяких різних часів не існує, є лише різні одиниці вимірювання часу і різні системи його рахунку.

Добу і її частки (години, хвилини і секунди) використовують під час вимірювання коротких проміжків часу. Для вимірювання великих проміжків часу служить інша одиниця міри, заснована на русі Землі навколо Сонця, — тропічний рік. Тропічним роком називають проміжок часу між двома послідовними проходженнями центра істинного Сонця через точку весняного рівнодення. Суккупність прийнятого початку відліку і використовуваних одиниць утворює систему вимірювання часу.

В основу систем відліку часу покладені астрономічні методи його вимірювання, що використовують як еталони:

- природний період обертання Землі навколо своєї осі (доба);
- період обертання Землі навколо Сонця (рік).

Застосування як еталонів часу періодів коливань атомів речовини є вигідним для точного вимірювання інтервалів часу (π -мезон живе всього 10^{-15} с, σ -частинки — 10^{-18} с), але це не дає безперервної шкали вимірювання часу.

2. Зоряний та сонячний час

Природою створені такі ідеальні годинники, які незмінно відлічують час. Цей годинник — обертання Землі навколо своєї осі,

або, що одне і те саме, видиме обертання небесної сфери навколо «умовно нерухомої» Землі.

Тривалість доби, тобто тривалість одного оберту Землі навколо своєї осі, можна помітити за спостереженнями якої-небудь зорі або Сонця, звідси і назва доби — зоряна або сонячна та найменування часу — зоряний або сонячний.

Приймаючи Землю «умовно нерухомою», можна вважати, що обертання небесної сфери з Сходу (E) на Захід (W) здійснюється рівномірно, як і реальне обертання Землі із Заходу (W) на Схід (E).

У цьому випадку переміщення меридіана світила в ході видимого добового руху, починаючи з моменту кульмінації світила на небесному меридіані спостерігача, буде характеризувати протягом часу, а в момент наступної однойменної кульмінації — доба закінчиться (рис. 6.1).

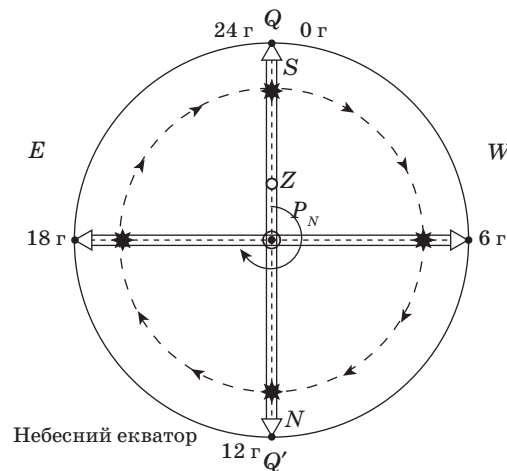


Рис. 6.1

Небесний меридіан світила можна уподібнити покажчику (годинниковій стрілці) часу, який минув, а небесний екватор «розділити» на відповідні одиниці і використовувати як шкалу (циферблат годин) для відліку часу.

Оскільки дуга екватора від полуденної частини місцевого меридіана до меридіана світила вимірює часовий кут (t) світила, то між виміром часових кутів світил і виміром часу існує залежність:

$$\begin{aligned} 0 \text{ г} &\sim 0^\circ; 1 \text{ г} \sim 15^\circ; 6 \text{ г} \sim 90^\circ; \\ 12 \text{ г} &\sim 180^\circ; 18 \text{ г} \sim 270^\circ; 24 \text{ г} \sim 360^\circ. \end{aligned}$$

В астрономії час вимірюється зоряною добою.

Тривалість зоряного періоду обертання Землі визначається за добовим рухом точки Овна — точки «весняного рівнодення» (γ), яка займає на небесній сфері цілком певне положення і від неї ведуть рахунок прямих сходжень (α) і зіркових схилень (δ) світил.

Зоряна доба — інтервал часу між двома послідовними проходженнями точки « γ » через полуденну частину місцевого меридіана, тобто між двома послідовними верхніми кульмінаціями точки « γ ».

Зоряний місцевий час (S_M) — інтервал часу від моменту верхньої кульмінації точки « γ » на місцевому меридіані до конкретного моменту по зоряному годиннику (рис. 6.2):

$$S_M = t_M^\gamma$$

Кожному географічному меридіану відповідає свій зоряний місцевий час.

Зоряний місцевий час на Гринвіцькому меридіані називається гринвіцьким зоряним часом (рис. 6.2).

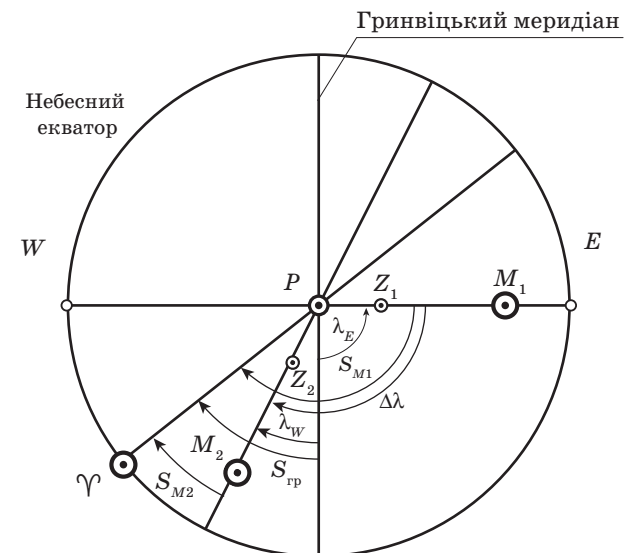


Рис. 6.2

3. Сонячний час

У повсякденному житті зручніше користуватися сонячним часом.

Справжня сонячна доба — інтервал часу між двома послідовними верхніми кульмінаціями центру видимого диска Сонця на одному і тому самому меридіані.

Сонячна доба «довша» від зоряної на величину добової зміни прямого сходження ($\Delta\alpha^\odot$), значення якої змінюється:

$$22 \text{ грудня} — \Delta\alpha_{\max}^\odot = 66,6' \text{ (4 м 26,4 с);}$$

$$18 \text{ вересня} — \Delta\alpha_{\min}^\odot = 53,8' \text{ (3 м 35,2 с);}$$

Таким чином, 23 грудня — найтриваліша істинна сонячна доба, а 18 вересня — найкоротша. Різниця між найтривалішою і найкоротшою в році істинною сонячною добою досягає 51 с та є наслідком еліптичного руху центра тяжіння системи «Земля + Місяць» навколо Сонця.

Користуватися змінною одиницею часу незручно.

Для того щоб отримати постійну одиницю часу, уведено поняття середнього Сонця $\oplus$ та середньої сонячної доби.

Середнє Сонце — це фіктивна точка, яка здійснює рух по небесному екватору (а не по екліптиці) зі сталою швидкістю.

Середня сонячна доба — інтервал часу між двома послідовними на добу нижніми кульмінаціями середнього Сонця на одному й тому самому меридіані $\Delta\alpha^\oplus = 59,14'$.

Середня сонячна доба «довше» від зоряної на 3 хв 56,56 с та коротше від істинної $\sim$ на 8 с.

Середній час (T) — час, який вимірюється середньою сонячною добою або її частками. Середній час (T) можна обчислити за формулою:

$$T = t_w^\oplus \pm 12 \text{ г.}$$

За початок обліку середнього сонячного часу прийнято північ. Облік середнього сонячного часу від опівночі введений 1925 року.

До 1 січня 1925 р. астрономічна середня доба починалася опівдні, а громадянська середня доба — опівночі напередодні.

Середня доба служить основою вимірювання часу в повсякденному житті.

Середнім сонячним часом у даний фізичний момент називається число середніх годин, хвилин і секунд, які пройшли від початку середніх діб до даного фізичного моменту.

1959 року швейцарська фірма «Нарден» виготовила хронометр, який одночасно показує середній сонячний час (години, хвилини,

секунди) і зоряний гринвіцький час (десятки градусів, градуси і десятки кутових секунд).

Синхронізація сонячного і зоряного часу забезпечувалася з точністю до 1,4 с в рік. Середнім сонячним часом цілодобово ведеться календарний рахунок днів у році: після 24 годин (однієї доби) календарна дата збільшується на одиницю, а рахунок середнього часу починається від 0 до 24 години.

4. Одиниці часу

$$1 \text{ середня доба} = 24 \text{ сер. години;}$$

$$1 \text{ сер. година} = 60 \text{ сер. хв;}$$

$$1 \text{ сер. хв} = 60 \text{ сер. с;}$$

$$1 \text{ сер. с} = 10^3 \text{ мс} = 10^6 \text{ мкс.}$$

$$1 \text{ секунда} = 1/86400 \text{ частина середньої доби.}$$

Так визначали тривалість «1 с», поки 1955 року не прийняли ефемеридний час.

Варіації тривалості середніх діб, одержуваної на основі періоду обертання Землі, хоча й невеликі, але нерегулярні, і їх не можна передбачити. Саме тому визначення одиниці виміру часу секунди як 1/86400 частини середньої доби виявилось абсолютно недостатнім за точністю з огляду на сучасний рівень розвитку науки і техніки.

З 1955 року за основу для визначення тривалості «1 с» беруть уже не тривалість середньої доби, а тривалість тропічного року.

Тропічний рік — проміжок часу між двома послідовними проходженнями середнього Сонця через точку « γ ». За 1000 років внаслідок уповільнення обертання Землі тривалість тропічного року зменшується приблизно на 5,3 с.

У тропічному році зоряної доби міститься рівно на одну добу більше.

$$1 \text{ троп. рік} = 365,2422 \text{ сер. доби} = 366,2422 \text{ зор. доби}$$

$$1 \text{ сер. доб.} = 1,002738 \text{ зор. доби} = 24 \text{ г 03 хв 56,6 с зор. од.}$$

$$1 \text{ зор. доб.} = 0,997270 \text{ сер. доби} = 23 \text{ г 56 хв 04,1 с сер. од.}$$

$$\Delta S = 1,002738 \Delta T, \Delta T = 0,997270 \Delta S.$$

Прийнята за еталон тривалість тропічного року замість тривалості середньої доби дозволила підвищити точність визначення одиниць часу майже в 1000 разів.

1960 року на XI Генеральній конференції з мір та ваг була прийнята єдина міжнародна система одиниць «СІ» і уточнена середня секунда як:

$$1 \text{ с} = 1/31.556.925,9747 \quad (4.10)$$

частина тропічного року, віднесена до дати 1900 р. січня 0,12 години ефемеридного часу (опівдні 31 грудня 1899 р. за календарем).

5. Різні системи відліку часу

Ефемеридний час (ЕТ) — система вимірювання часу, у якій тривалість одиниці часу постійна і дорівнює ефемеридній секунді у формулюванні, зазначеному XI конференцією 1960 року.

Введення ефемеридного часу дало еталон часу, який відповідає основній вимозі метрології — постійності самої одиниці вимірювання в часі.

Перехід від Всесвітнього часу (UT) до ефемеридного часу (ЕТ) здійснюється за допомогою поправки, яка публікується в Астрономічних Щорічниках (в епоху 1970,5 Δ UT = +39,7 с).

Найкраще наближення до ходу абсолютно рівномірного часу досягли після застосування атомних і молекулярних еталонів частоти й часу.

За допомогою атомних еталонів можна з високою точністю відтворювати тривалість ефемеридної секунди в будь-який період часу.

1967 р. XIII Генеральна конференція з мір та ваг дала визначення атомного еталона часу — секунди як інтервалу часу, протягом якого відбувається 9.192.631.770 коливань, що відповідають резонансній частоті енергетичного переходу між рівнями надтонкої структури основного стану, атома Цезію-133 за відсутності збурень зовнішніми полями.

Всесвітнім, або світовим, часом називається місцевий середній час гринвіцького меридіана. Його позначають через T_0 . Ним користуються для обчислення моментів початку і закінчення важливих астрономічних явищ і даних, які потрібні в астрономічній практиці, геодезії, мореплаванні та авіації. Їх публікують в астрономічних календарях, астрономічних щорічниках і довідниках.

Місцевий час пов'язаний із Всесвітнім часом формулою

$$T_M = T_0 + \lambda,$$

де λ — довгота, визначена відносно гринвіцького меридіана.

Поясний час. У XIX ст. спостерігалось посилення різних форм економічних, політичних та культурних зв'язків між населенням великих національних областей і сусідніх держав. За таких умов виявилось, що користування місцевим часом супроводжується численними непорозуміннями.

1885 р. Міжнародна конференція 26 держав прийняла систему поясного часу. За нею всю земну кулю було поділено на 24 годинні пояси з нумерацією від 0 до XXIII. Годинний пояс простягається по довготі на 15° . Місцевий час середнього меридіана поясу, яким користуються в усьому поясі, називається поясним часом. Границі поясів проходять по державних кордонах, по границях великих адміністративних областей та з урахуванням фізико-географічних об'єктів (гірських хребтів, великих рік і т. ін.).

Нульовий пояс простягається по довготі на $7,5^\circ$ на захід і стільки ж на схід від гринвіцького меридіана. Перший пояс лежить в межах $7,5-22,5^\circ$, а другий — у межах $22,5-37,5^\circ$ і т. ін., різниця між поясами і місцевим часом в межах поясу не перевищує півгодини.

Центральний меридіан першого поясу проходить на 15° на схід від Гринвіча ($\lambda = 15^\circ = 1^h$), другий — на 30° ($\lambda = 30^\circ = 2^h$) і т. д. Отже, N — номер поясу — збігається із значенням довготи середнього поясного меридіана, вираженої в годинах, що значно спрощує розрахунки. Позначають поясний час буквою T_n . Він дорівнює:

$$T_n = T_0 + N. \quad (6)$$

Літній час було введено з метою раціональної організації виробничого і суспільного життя великих індустріальних і адміністративних центрів, рівномірного використання потужностей електростанцій протягом доби, денного освітлення для роботи і т. ін. 16 червня 1930 р. Декретом Ради Народних Комісарів стрілки годинників в усіх годинних поясах СРСР були переведені на одну годину вперед. Зв'язок декретного часу із Всесвітнім виражається співвідношенням $T_d = T_0 + N + 1^h$, а також

$$T_d = T_M - (\lambda - N - 1^h). \quad (7)$$

За декретним часом третього (московського) поясу діяли в СРСР усі види транспорту, засоби зв'язку і т. ін.

Атомні еталони відтворюють тривалість ефемеридної секунди з похибкою $1 \cdot 10^{-11}$ с.

Час, який вимірюють за допомогою атомних одиниць, називають **атомним (АТ)**.

Атомна система вимірювання часу не дає безперервного і незалежного від діяльності людини вимірювання часу. У АТ сталою є тільки одиниця — атомна секунда.

Астрономічну і атомну системи вимірювання часу застосовують одночасно.

До виготовлення молекулярних (атомних) годинників еталоном часу були кварцеві годинники, які працювали в 10 разів рівномірніше, ніж Земля оберталася навколо своєї осі. (У 1943 р. першою на кварцові годинники перейшла Гринвіцька обсерваторія).

Нові (атомні) хранителі часу працюють у 100 разів рівномірніше за обертання Землі. Перші у світі молекулярні годинники були виготовлені 1948 р. у Швейцарії.

АТ1 — міжнародний атомний час.

UTC (SU) — **Всесвітній координований час**. Це рівномірний час, шкала якого за необхідності зміщується на 1 с відносно міжнародної атомної шкали часу АТ1 так, щоб розбіжність між UTC і UT1 залишалася незначною ($\leq 0,7$ с).

Розходження шкал часу UT1 ($T_{\text{гр}}$) і UTC більш ніж на 1 с не допускається.

Коригування полягає у введенні додаткової позитивної або негативної секунди (1 січня, 1 квітня, 1 липня, 1 жовтня):

- «+1 с» — остання доба місяця збільшується на 1 с;
- «-1 с» — остання доба місяця зкорочується на 1 с.

Інформацію про знак та величину $\Delta T_{\text{к}}$ повідомляють щоденно. Точність визначення $\Delta T_{\text{к}}$ за радіосигналами вітчизняних станцій — до 0,02 с.

Сигнали точного часу провідних радіостанцій — РБУ (ДВ), РВМ, РАТ (КВ) не відхиляються від шкали державного еталона часу і частоти більш ніж на 0,00003 с (інших радіостанцій — не більше ніж на 0,0001 с).

Мовні сигнали перевірення часу у вигляді 6 імпульсів дають похибку від 0,1 до 0,5 с (початок останнього шостого сигналу відповідає 00 хв 00 с чергової години). Державна служба часу і частоти визначає еталонний час, зберігає його, передає інформацію про точний час і еталонні частоти за допомогою радіосигналів часу і частоти, контролює проходження цих сигналів і повідомляє їх поправки. Діяльність Державної служби часу і частоти координує Міжнародне бюро часу, яке виробляє узагальнену інформацію про міжнародний атомний час АТ1.

Міжнародна Лінія зміни дат — умовна лінія на поверхні Землі навпроти Гринвіцького меридіана, перетинаючи яку, дата змінюється на один день вперед або назад. Орієнтовно пролягаючи вздовж 180° довготи (з певними відхиленнями для проходження повз деякі території та групи островів), вона здебільшого відповідає границі, що розділяє часові пояси UTC + 12 та UTC — 12. Під час перетину Міжнародної Лінії зміни дат із заходу на схід дата змінюється на один день, або 24 години, назад, а в разі перетину зі сходу на захід — на один день, або 24 години, вперед.

Запитання до учнів у ході викладу нового матеріалу

1. На скільки годин відрізняється літній час в Україні від Світового часу?
2. Що означає проміжок часу між двома послідовними проходженнями середнього Сонця через точку Овна?
3. На скільки годин відрізняється поясний час м. Києва від гринвіцького часу?
4. На скільки хвилин сонячна доба довша за зоряну?
5. З якою сталою швидкістю рухається середнє Сонце по екватору?

Що ми дізналися на уроці

1. Час невичерпний, вічний і нескінченний, він не залежить від людини та її свідомості і вимірюється в одному напрямку — від минулого до майбутнього.
2. В астрономії для вимірювання часу прийнято зоряну добу — інтервал часу між двома послідовними верхніми кульмінаціями точки Овна на одному і тому самому меридіані.
3. Основою для вимірювання часу в повсякденному житті є середня доба — інтервал часу між двома послідовними нижніми кульмінаціями середнього Сонця на одному і тому самому меридіані.
4. Поділяють такі системи відліку часу:
 - всесвітній (за Гринвічем);
 - місцевий (меридіани);
 - поясний;
 - декретний;
 - літній.
5. Місцевий час пов'язаний із Всесвітнім часом формулою

$$T_{\text{м}} = T_0 + \lambda,$$

де λ — довгота, визначена відносно гринвіцького меридіана.

6. Зоряна доба — це проміжок часу між двома послідовними верхніми кульмінаціями точки весняного рівнодення.
7. Зоряний час — це час, що минув від верхньої кульмінації точки весняного рівнодення

IV. ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ

1. Читати § 6.
2. Завдання письмово стор. 30 № 6.1, 6.2.

Урок 7/І-6

Тема. Календар. Сонячні, місячні та місячно-сонячні календарі. Юліанський та григоріанський календарі. Практична робота № 2 «Визначення максимальної різниці місцевого часу для шкільного подвір'я та класної кімнати»

Цілі:

- *навчальна:* продовжити ознайомлення учнів зі способами лічби часу, увести поняття року як одиниці виміру часу руху Землі навколо Сонця, пояснити причину різної тривалості сонячного та місячного місяців, різницю між сонячними, місячними, сонячно-місячними календарями; юліанським та григоріанським календарями, календарями і літочисленням;
- *розвивальна:* продовжити формування наукового світогляду в ході ознайомлення з основними типами календарів і системами літочислення; пояснити стереотипи, пов'язані з поняттями «високосний рік» і переведенням дат юліанського та григоріанського календарів; здійснювати політехнічне і трудове виховання під час викладу матеріалу про календарі і системи літочислення і практичні способи застосування астрометричних знань;
- *виховна:* формування умінь розв'язувати задачі на розрахунок часу і дат літочислення і переводити час з однієї системи зберігання та лічби в іншу.

Нові поняття: зоряний час, сонячний час, атомний час, координований Всесвітній час, місцевий, поясний час, лінія зміни дат.

- *Учні повинні мати уявлення:* про методи і одиниці вимірювання часу.
- *Учні повинні знати:* основні типи календарів: місячні, місячно-сонячні, сонячні тощо.
- *Учні повинні вміти:* розв'язувати задачі на переведення одиниць виміру часу із однієї системи в іншу за формулами, що виражають зв'язок між різними системами літочислення.
- *Міжпредметні зв'язки:* географія, фізика, історія.

Демонстрації:

- 1) Презентація «Що таке час?».

Технічні засоби навчання, наочне приладдя:

- 1) Мультимедійний проектор, комп'ютер, CD-презентація «Що таке час?».
- 2) Карта годинних поясів.
- 3) Зображення різних типів годинників, атлас «А-11» — с. 4–7.

Обладнання:

- 1) Комп'ютер.
- 2) Мультимедійний проектор, екран.
- 3) Презентація «Що таке час?».

План заняття

Час	Метод навчання	Зміст роботи	Наочне приладдя, ТЗН
0,5 хв	Бесіда	Організаційний момент Перевірка готовності учнів до уроку. Стимулювання діяльності учнів, забезпечення їх загальної готовності, забезпечення своєчасного й організованого початку уроку	

Час	Метод навчання	Зміст роботи	Наочне приладдя, ТЗН
1 хв.	Бесіда	Актуалізація знань учнів	
14 хв	Бесіда	Пояснення нового матеріалу 1) Загальні положення. 2) Місячний календар. 3) Різновиди календарів. 4) Виконання практичної роботи № 2	
27 хв		Закріплення знань учнів Розв'язування задач	
2 хв		Підбиття підсумків уроку	
1 хв		Домашнє завдання Читати § 7 (5), 10	

ХІД УРОКУ

I. ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ МОМЕНТ

II. АКТУАЛІЗАЦІЯ ЗНАНЬ УЧНІВ

1. Які природні астрономічні процеси покладені в основу вимірювання часу?
2. Коли починається астрономічна весна?
3. Чому дні рівнодень мають такі назви?
4. Які одиниці часу вам відомі?

III. ПОЯСНЕННЯ НОВОГО МАТЕРІАЛУ

1. Загальні положення

У результаті спостережень за зміною положення Сонця над горизонтом виникла міра часу — рік.

Рік — проміжок часу, протягом якого Земля робить один повний оберт навколо Сонця відносно будь-якого орієнтира (точки).

Зоряний рік — сидеричний (зоряний) період обертання Землі навколо Сонця, що дорівнює 365,256320... середньої сонячної доби.

Аномалістичний рік — проміжок часу між двома послідовними проходженнями середнього Сонця через точку своєї орбіти (зазвичай перигелій), дорівнює 365,259641 ... середньої сонячної доби.

Тропічний рік — проміжок часу між двома послідовними проходженнями середнього Сонця через точку весняного рівнодення, дорівнює 365,2422 ... середньої сонячної доби або 365d05h48m46,1s.

Всесвітній час визначається як місцевий середній сонячний час на нульовому (Гринвіцькому) меридіані.

Календар — безперервна система числення великих проміжків часу, заснована на періодичності явищ природи, особливо виразно виявляється в небесних явищах (русі небесних світил). З календарем нерозривно пов'язана вся багатовікова історія людської культури.

Потреба в календарях виникла доволі давно, коли людина не вміла ще читати і писати. Календарі визначали настання весни, літа, осені і зими, періоди цвітіння рослин, дозрівання плодів, збору лікарських трав, змін у поведінці та життя тварин, зміни погоди, час землеробських робіт та багато чого іншого.

2. Типи календарів

Виділяють три основні типи календарів.

Місячний календар — в його основу покладено синодичний місячний місяць тривалістю 29,5 середньої сонячної діби. Виник понад 30 000 років тому. Рік місячного календаря містить 354 (355) доби (на 11,25 доби коротше від сонячного) і ділиться на 12 місяців по 30 (непарні) і 29 (парні) діб у кожному (у мусульманському календарі вони називаються: мухаррам, сафар, рабі аль-авваль, рабі ас-сани, Джумада аль-Уля, Джумада аль-Ахіра, раджаб, шаабан, рамадан, Шавваль, зуль-каада, зуль-хіджджа). Оскільки календарний місяць на 0,0306 доби коротше від синодичного і за 30 років різниця між ними сягає 11 діб, в арабському місячному календарі в кожному 30-річному циклі налічується 19 «простих» років по 354 доби і 11 «високосних» по 355 діб (2-й, 5-й, 7-й, 10-й, 13-й, 16-й, 18-й, 21-й, 24-й, 26-й, 29-й роки кожного циклу). Турецький місячний календар менш точний: у його 8-річному циклі 5 «простих» і 3 «високосних» роки. Новорічна дата не фіксується (повільно переміщується з року в рік): так, 1421 хіджджи почався 6 квітня 2000 р. і закінчився 25 березня 2001 року. Місячний календар прийнято як релігійний та державний у мусульманських державах Афганістані, Іраку, Ірані, Пакистані, ОАР і інших. Для планування та регулювання господарської діяльності паралельно застосовуються сонячний і місячно-сонячний календарі.

Сонячний календар, в основу якого покладено тропічний рік. Виник понад 6000 років тому.

Юліанський сонячний календар «старого стилю» було розроблено олександрійським астрономом Созігеном, а введено імператором Юлієм Цезарем у Стародавньому Римі 46 р. до н. е. На Русі юліанський календар було прийнято 988 р. н. е. У юліанському ка-

лендарі тривалість року визначається в 365,25 доби; три «простих» роки налічують по 365 днів, один високосний — 366 днів. У році 12 місяців по 30 і 31 день кожен (окрім лютого). Юліанський рік відстає від тропічного на 11 хвилин 13,9 секунди на рік. За 1500 років його застосування накопичилася помилка в 10 днів.

У григоріанському сонячному календарі «нового стилю» тривалість року становить 365,242500 доби. 1582 року юліанський календар за указом Папи Римського Григорія XIII був реформований згідно з проектом італійського математика Луджі Ліліо Гараллі (1520–1576 рр.). Рахунок днів пересунули на 10 днів вперед і додали кожне сторіччя, яке не ділиться на 4 без залишку (1700, 1800, 1900, 2100 і т. ін.), не вважати високосним. У такий спосіб за кожні 400 років виправляється помилка в 3 доби. Помилка в 1 добу «набігає» за 2735 років. Нові століття і тисячоліття починаються з 1 січня «першого» року даного століття і тисячоліття. Так, XXI століття і III тисячоліття нашої ери (н. е.) розпочалося 1 січня 2001 року за григоріанським календарем.

У нашій країні до революції застосовувався юліанський календар «старого стилю», помилка якого до 1917 року становила 13 днів. 1918 року в країні було введено григоріанський календар «нового стилю» і всі дати зрушилися на 13 днів вперед.

Переведення дат юліанського календаря на григоріанський календар здійснюється за формулою:

$$T_{\Gamma} = T_{\text{ю}} + n, \quad n = C - C_1/4 - 2,$$

де T_{Γ} і $T_{\text{ю}}$ — дати за григоріанським і юліанським календарем; n — ціле число днів, C — число повних минулих століть, C_1 — найближче число століть, кратне чотирьом.

Існують різновиди сонячних календарів.

Перський календар визначав тривалість тропічного року в 365,24242 доби. 33-річний цикл включає в себе 25 «простих» і 8 «високосних» років. Він точніший від григоріанського: помилка в 1 рік «набігає» за 4500 років. Розроблено Омаром Хайямом 1079 року; застосовувався на території Персії і ряду інших держав до середини XIX століття.

Коптський календар схожий на юліанський: у році налічується 12 місяців по 30 днів; після 12 місяця в «простому» році додається 5, у «високосному» — 6 додаткових днів. Використовується в Єгипті і деяких інших державах (Єгипет, Судан, Туреччина і т. ін.) на території проживання коптів.

Місячно-сонячний календар — у ньому рух Місяця узгоджується з річним рухом Сонця. Рік складається з 12 місячних місяців по 29 і по 30 днів у кожному, до яких для обліку руху Сонця періодично додаються «високосні» роки, що містять додатковий 13-й місяць. У результаті «прості» роки тривають 353, 354, 355 днів, а «високосні» — 383, 384 або 385 днів. Виник на початку I тисячоліття до н. е., застосовувався в Стародавньому Китаї, Індії, Вавилоні, Іудеї, Греції, Римі. На сьогодні прийнятий в Ізраїлі (початок року припадає на різні дні між 6 вересня і 5 жовтня) і застосовується, поряд з державним, у країнах Південно-Східної Азії (В'єтнам, Китай тощо).

Крім вищеописаних основних типів календарів, у деяких регіонах Землі були створені і до сих пір застосовують календарі, що враховують видимий рух планет на небесній сфері.

Східний місячно-сонячно-планетний 60-річний календар базується на періодичності руху Сонця, Місяця і планет Юпітера й Сатурна. Виник на початку II тисячоліття до н. е. у Східній та Південно-Східній Азії. На сьогодні його використовують у Китаї, Кореї, Монголії, Японії та деяких інших країнах цього регіону.

У 60-річному циклі сучасного східного календаря налічується 21 912 днів (у перших 12-ти роках міститься 4371 доба, у других і четвертих — 4400 і 4401 доба, у третіх і п'ятих — 4370 днів). У цей проміжок часу укладається два 30-річних цикли Сатурна (дорівнюють сидеричним періодам його обертання $T_{\text{Сатурна}} = 29,46 \approx 30$ років), приблизно три 19-річних місячно-сонячних циклів, п'ять 12-річних циклів Юпітера (дорівнює сидеричним періодам його обертання $T_{\text{Юпітера}} = 11,86 \approx 12$ років) і п'ять 12-річних місячних циклів. Кількість днів у році не постійна і може становити в «прості» роки 353, 354, 355 днів, у високосні — 383, 384, 385. Початок року в різних державах припадає на різні дати з 13 січня до 24 лютого. Поточний 60-річний цикл почався 1984 року.

Центральноамериканський календар культур індіанців майя та ацтеків застосовувався в період близько 300–1530 рр. н. е. Заснований на періодичності руху Сонця, Місяця і синодичних періодів обертання планет Венери (584d) і Марса (780d). «Довгий» рік тривалістю 360 (365) днів складався з 18 місяців по 20 днів у кожному та 5 святкових днів. Паралельно в культурно-релігійних цілях використовувався «короткий рік» з 260 днів (1/3 синодичного періоду обертання Марса). Він ділився на 13 місяців по 20 днів у кожному; «номерні» тижні складалися з 13 днів, що мали свій номер і назву. Тривалість тропічного року була визначена з високою точністю

в 365,2420 *d* (помилка в 1 добу накопичується за 5000 років!); Місячного синодичного місяця — 29,53059 *d*.

До початку XX століття зростання міжнародних наукових, технічних і культурно-економічних зв'язків зумовило необхідність створення єдиного, простого і точного Світового календаря. Існуючі календарі мають численні недоліки, що стосуються відповідності тривалості тропічного року і дат астрономічних явищ, пов'язаних з рухом Сонця по небесній сфері, нерівної і непостійної тривалості місяців, неузгодженості чисел місяця і днів тижня, невідповідності їх назв положенню в календарі тощо.

Ідеальний вічний календар має незмінну структуру, що дозволяє швидко і однозначно визначати дні тижня за будь-якої календарної дати літочислення. Один із найкращих проектів вічних календарів був рекомендований до розгляду Генеральною Асамблеєю ООН 1954 року. Навіть за схожості з григоріанським календарем він був простішим і зручнішим. Тропічний рік ділиться на 4 квартали, що містять 91 добу (13 тижнів). Кожний квартал починається з неділі і закінчується суботою; складається з 3 місяців (у першому місяці 31 доба, у другому і третьому — 30 діб). У кожному місяці 26 робочих днів. Перший день року завжди неділя. Цей проект виявився нереалізованим з релігійних міркувань. Уведення єдиного Світового вічного календаря залишається однією з проблем сучасності.

Початкова дата і наступна система літочислення називаються ерою. Початкову точку відліку ери називають її епохою.

З давніх часів початок певної ери (відомо понад 1000 ер у різних державах різних регіонів Землі, у тому числі 350 в Китаї і 250 в Японії) і весь хід літочислення пов'язували з важливими легендарними, релігійними або (рідше) реальними подіями: часом царювання певних династій та окремих імператорів, війнами, революціями, олімпіадами, заснуванням міст і держав, «народженням» бога (пророка) або «створенням світу».

За початок китайській 60-річній циклової ери прийнята дата 1-го року царювання імператора Хуанді — 2697 р. до н. е.

У Давній Греції лічба часу велася за олімпіадами, з епохи 1 липня 776 р. до н. е. У Стародавньому Вавілоні «ера Набонассара» розпочалася 26 лютого 747 р. до н. е.

У Римській імперії рахунок вівся від заснування Рима з 21 квітня 753 р. до н. е. і з дня вступання на престол імператора Діоклетіана 29 серпня 284 р. н. е.

У Візантійській імперії і пізніше, за традицією, на Русі — від прийняття християнства князем Володимиром Святославовичем (988 р. н. е.) до указу Петра I (1700 р. н. е.) лічба років велася «від створення світу»: за початок відліку була прийнята дата 1 вересня 5508 до н. е. (перший рік «візантійської ери»). У Стародавньому Ізраїлі (Палестині) «створення світу» сталося пізніше: 7 жовтня 3761 до н. е. (перший рік «єврейської ери»). Існували й інші, відмінні від найбільш поширених вищевказаних ер «від створення світу».

Сучасне літочислення — «наша ера», «нова ера» (н. е.), «ера від Різдва Христового» (Р. Х.), Anno Domini (AD — «рік Господа») — ведуть від довільно обраної дати народження Ісуса Христа. Оскільки в жодному історичному документі вона не вказана, а Євангелія суперечать одне одному, учений чернець Діонісій Малий у 278 р. ери Діоклетіана вирішив «науково», на основі астрономічних даних, обчислити дату епохи. В основу розрахунків було покладено 28-річне «сонячне коло» — проміжок часу, за який числа місяців припадають точно на ті самі дні тижня, і 19-річне «місячне коло» — проміжок часу, за який однакові фази Місяця припадають на одні й ті самі дні місяця. Утворення циклів «сонячного» і «місячного» кола з поправкою на 30-літній час життя Христа ($28 \cdot 19S + 30 = 572$) дало початкову дату сучасного літочислення. Лічба років «від Різдва Христового» «приживалася» дуже повільно, аж до XV століття н. е. Навіть 1000 років тому в офіційних документах Західної Європи зазначалося 2 дати: від створення світу і від Різдва Христового (AD).

У мусульманському світі за початок літочислення було прийнято 16 липня 622 року нашої ери — день хіджжри (переселення пророка Мохаммеда з Мекки в Медину).

Для зручності астрономічних і хронологічних розрахунків з кінця XVI століття застосовується запропоноване Ж. Скалігером літочислення юліанського періоду (JD). Безперервний рахунок днів ведеться з 1 січня 4713 до н. е.

IV. ЗАКРІПЛЕННЯ ЗНАНЬ

Запитання до учнів у ході викладу нового матеріалу

1. Яка найбільша кількість неділь може бути в лютому?
2. 1 січня сонячний годинник показує 10 годину ранку. Який час показують у цей момент ваш годинник?
3. Визначте різницю в показаннях точних годинника і хронометра, що йде за зоряним часом, через 1 рік після їх одночасного пуску.

Виконання практичної роботи № 2 (інструкція нижче)

Залежно від рівня підготовки класу, можливості доступу до мережі Інтернет учитель може обрати для виконання роботи один, два або всі три варіанти, розділивши учнів на групи й запропонувавши кожній виконати роботу за окремим (одним) варіантом.

Якщо немає можливості провести астрономічні спостереження, можна використати для розрахунків перший і третій варіанти.

Сучасні мобільні телефони мають функції GPS, за допомогою яких легко визначити координати (довгота та широта місця спостереження), що значно полегшує виконання роботи.

Третій варіант роботи передбачає визначення широти місця спостереження за допомогою гномона, значення якої учитель може повідомити учням (або учні можуть скористатися довідниками), тому виконання роботи також значно спрощується.

Що ми дізналися на уроці

- Календар — безперервна система числення великих проміжків часу, заснована на періодичності явищ природи, особливо виразно виявляється в небесних явищах (рух небесних світил).
- Місячний календар — в його основі лежить синодичний місячний місяць тривалістю 29,5 середньої сонячної доби.
- Сонячний календар — в його основу покладено тропічний рік.
- Нині в більшості країн світу прийнято сонячний григоріанський календар.
- У григоріанському календарі роки, що закінчуються двома нулями, за винятком 1600, 2000, 2400 і т. д. (тобто тих, у яких число сотень ділиться на 4 без остачі), не вважаються високосними. Так і виправляють похибку на 3 доби, що накопичується за 400 років. Отже, середня тривалість року в новому стилі дуже близька до періоду обертання Землі навколо Сонця.

V. ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ

Читати § 7 (5), 10.

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 2

«ВИЗНАЧЕННЯ МАКСИМАЛЬНОЇ РІЗНИЦІ МІСЦЕВОГО ЧАСУ ДЛЯ ШКІЛЬНОГО ПОДВІР'Я ТА КЛАСНОЇ КІМНАТИ»

Теоретичні відомості

Місцевий час — час, визначений для певного місця на Землі; залежить від географічної довготи місця і однаковий для всіх точок на одному меридіані.

Вимірювання часу зоряною і сонячною добою пов'язано з географічним меридіаном. Час, який вимірюють на певному меридіані, називається місцевим часом цього меридіана, він однаковий для всіх пунктів, що розташовані на цьому меридіані. Внаслідок обертання Землі із заходу на схід місцевий час в один і той же момент на різних меридіанах різний. Наприклад, на меридіані, що лежить на 15° на схід від даного, місцевий час буде більше на 1 год, а на меридіані, розташованому на 15° на захід, — менше на 1 год, ніж на даному меридіані. Різниця місцевих часів двох пунктів дорівнює різниці їх довгот, вираженої в годинній мірі.

Таким чином, виконуючи цю роботу, необхідно визначити довготу кожної з двох точок земної поверхні, для яких визначають різницю місцевого часу.

Місцевий час у двох пунктах (T_1 і T_2) відрізняється рівно настільки, наскільки відрізняється їх географічна довгота:

$$T_1 - T_2 = \lambda_1 - \lambda_2.$$

Таким чином, необхідно визначити довготи двох точок для шкільного подвір'я та класної кімнати.

Виконайте запропоноване завдання згідно з варіантом, вказаним учителем.

I варіант виконання завдання (з використанням мережі Інтернет)

1. Зайдіть на сайт <http://3planeta.com/googlemaps/karty-google-maps.html>, де розміщена супутникова карта в режимі реального часу.



- Введіть адресу об'єкта в рядку пошуку, розміщеному нижче від супутникової карти. Натисніть пошук. Якщо об'єкт знайдений, карта Google поінформує вас і перемістить до шуканих координат.
- Переміщайтесь всередині карти Google maps, користуючись вбудованою в карту панелью керування.
- Визначити координати можна у всіх режимах роботи карти. Широта і довгота відстежуються та записуються після клацання лівою кнопкою миші.
- Визначивши необхідні координати (довготу і широту) і записавши їх, пізніше можна повернутися до необхідного об'єкта на карті Google (для цього довготу і широту вводять через кому в рядку пошуку, що внизу карти Google. За картою Google зручно визначати адреси у великих містах).
- Різниця довгот

E5			
	A	B	C
1		L1	37,27165460586540
2		L2	37,27154731750480
3		L1-L2	0,00010728836060
4			

- З урахуванням цього результату визначаємо різницю довгот в градусній мірі — $0,0001^\circ$,

$$15^\circ \text{ — } 1 \text{ год}$$

$$0,0001^\circ \text{ — } x \text{ год}$$

Що складає $4,6 \cdot 10^{-7} = 0,0015 \text{ с}$.

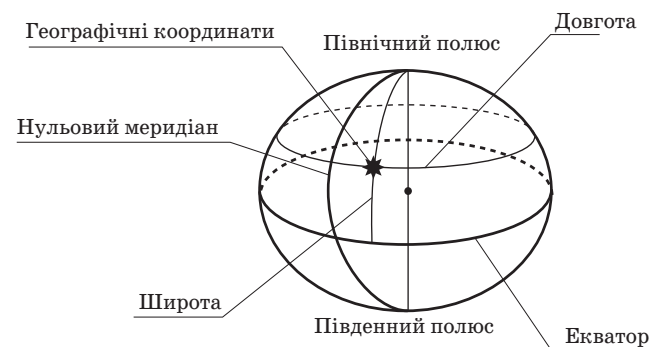
II варіант виконання завдання

(визначення довготи двох точок земної поверхні)

1. Визначення довготи

Екватор ділить земну кулю на Північну і Південну півкулю. Також існують паралелі і меридіани. Паралелі — це кола, паралельні до екватора. Меридіани — кола, перпендикулярні до екватора. Нульовий меридіан проходить через Гринвіцьку обсерваторію в Лондоні. Система паралелей і меридіанів являє собою координатну сітку, яку використовують для визначення місця розташування.

Географічні координати складаються з широти та довготи, що являють собою кутові величини, за допомогою яких можна визначити положення точки в будь-якій частині земної кулі.



Географічна довгота — кут, що відлічують від нульового меридіана — від 0° до 180° . Якщо лічбу ведуть на захід від Гринвіча, то це буде західною довготою, якщо на схід, то східною. Довгота показує, наскільки точка зміщена на захід або схід від нульового меридіана.

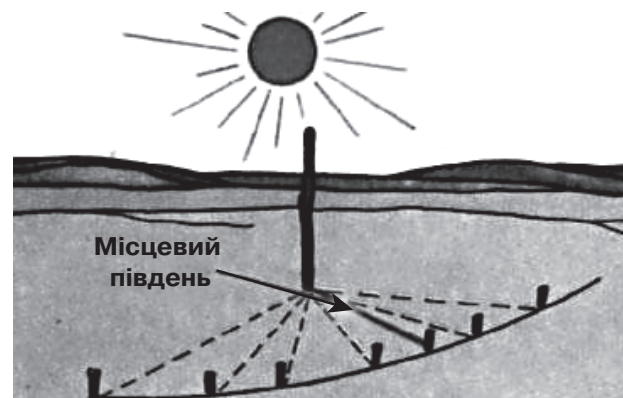
Градусом географічної довготи є $1/360$ частина екватора. Оскільки Земна куля робить повний оберт навколо своєї осі за 24 год, то за 1 год Земля проходить 15° довготи. Відповідно:

$$1^\circ \text{ довготи} = 4 \text{ хвилини}$$

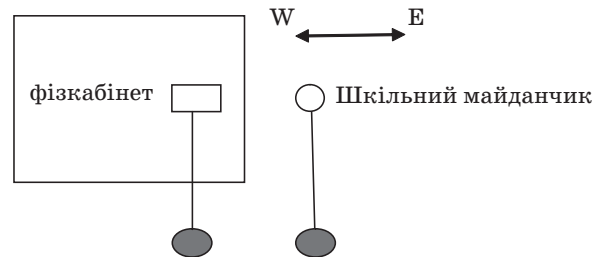
$$1' = 4 \text{ секунди}$$

$$1'' = 1/15 \text{ секунди}$$

Існує спосіб визначення географічної довготи вашого місцезнаходження за допомогою годинника. Для цього необхідно мати годинник, час якого виставлено за місцем з відомою довготою, і відмітити його показання опівдні за місцевим часом, а різницю цього часу перевести в градусну міру.



2. Визначення місцевого півдня



Відзначаючи точками положення кінця тіні від гномона і моменти часу за годинником до і після Півдня, знаходимо момент часу $t_{\text{п}} = T_{\text{п}}$, коли довжина тіні мінімальна — l_{min} .

Істинний сонячний час T_0 опівдня дорівнює 12 годинам, а наш годинник показує час $t_{\text{п}} = T_{\text{п}}$.

Так ми знаходимо полуденний час $T_{\text{п}}$.

$$\begin{array}{r} T_0 = 12\text{h} \\ T_{\text{п}} = 14\text{h}27\text{m}50\text{s} \\ \quad + 1\text{m}00\text{s} \\ \hline T_{\text{п}} = 13\text{h}48\text{m}50\text{s} \end{array}$$

(з урахуванням табличних даних на 5 вересня).

Таким чином, різниця складає $2\text{h}27\text{m}50\text{s} \approx 148\text{m}$.

Оскільки Земля обертається на 1° за 4 хвилини, обчислимо, на скільки градусів Земля обернеться за $148'$.

$$148' : 4' = 37^\circ.$$

Отже, необхідно визначити довготу місця спостереження у двох точках — на рівні фізичного кабінету та на шкільному майданчику. (Роботу проводять дві групи одночасно, головне — правильно визначити місця розташування гномонів. Для вимірювання довготи точки для спостереження мають перебувати на лінії схід—захід).

Визначивши таким чином довготи двох точок, знаходять різницю між значеннями в градусній мірі, яку переводять в години (точніше, в секунди годин).

III варіант виконання роботи

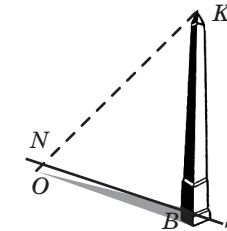
(через визначення географічної широти місця спостереження)

1. Визначення відстані між двома точками спостереження (місце розташування гномона та класної кімнати).

За допомогою рулетки виміряйте відстань r (див. рисунок).

2. Визначення географічної широти місця спостереження за гномом (у денний час).

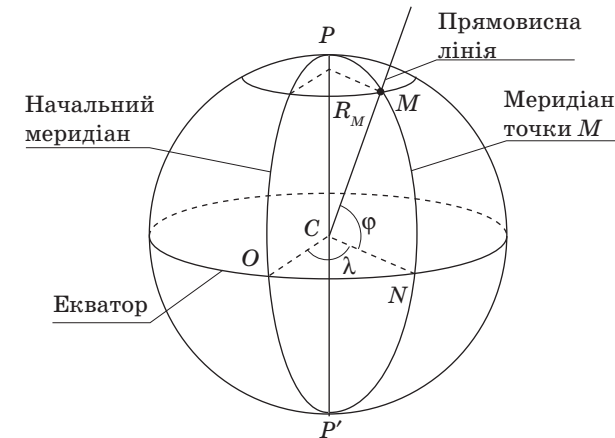
- 2.1. Установіть на астрономічному майданчику гномон певної висоти (KB).
- 2.2. Випишіть з астрономічного календаря значення схилення Сонця на дату спостереження (або скористайтесь для цього картою зоряного неба).



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

- 2.4. Обчисліть шукану широту за формулою: $\varphi = 90^\circ + \delta_\odot - h_\odot$, де $h_\odot = \arctg \frac{KB}{BO}$.

3. За формулою $R_M = R_3 \cdot \sin(90^\circ - \varphi)$ обчисліть радіус паралелі, на якій розташоване ваше місто (т. M).



3. За формулою $l = 2\pi R_M$ обчисліть довжину паралелі.
4. Оскільки на довжину l — 360° , то R_M — x° .

5. X — отриманий результат необхідно перевести в секунди годинної міри, це і буде різницею місцевого часу для двох точок земної поверхні.

Порівняйте результати ваших обчислень з іншими групами, які виконували це завдання в інший спосіб. Який спосіб дає точніший результат?

Урок 8/І-7

Тема. Системи світу Птолемея і М. Коперника. Закони Кеплера та їх зв'язок із законами Ньютона. Елементи орбіт та їх геометричне подання. Узагальнення законів Кеплера. Космічні швидкості на поверхнях небесних тіл та у просторі. Рух штучних супутників і автоматичних міжпланетних станцій

Цілі:

- *навчальна:* дати поняття про небесну механіку (про предмет, методи й інструменти небесної механіки, її зв'язок з іншими науками й основними етапами розвитку), розглянути закони руху космічних тіл у центральному полі тяжіння (закони Кеплера), траєкторії руху космічних тіл та їх основні характеристики, вивести формулу для обчислення першої космічної швидкості, ознайомити з величинами інших космічних швидкостей;
- *розвивальна:* продовжити формування умінь розв'язувати задачі на застосування законів руху космічних тіл і формул космічних швидкостей;
- *виховна:* продовжити формування наукового світогляду в ході ознайомлення з історією людського пізнання і пояснення причин небесних явищ, обумовлених рухом космічних тіл; здійснювати політехнічне і трудове виховання в ході викладу матеріалу про практичні способи застосування знань небесної механіки в космонавтиці; розкрити суперечливе ставлення науки і релігії до проблеми передбачення майбутніх подій на прикладі віщування місячних і сонячних затемнень.

Нові поняття: ексцентриситет, небесна механіка, закони Кеплера.

- *Учні повинні мати уявлення:* про небесну механіку (предмет її досліджень, зв'язок з іншими науками, основні етапи історії і вчених, що зробили найбільший внесок у розвиток небесної механіки); про відмінності між системами світу Птолемея і Коперника.
- *Учні повинні знати:* закони руху космічних тіл у центральних полях тяжіння Кеплера, про зв'язок між формою орбіти космічних тіл; значення I, II, III космічних швидкостей (для Землі), елементи орбіт.
- *Учні повинні вміти:* розв'язувати задачі на застосування законів руху космічних тіл для обчислення їхніх орбіт і космічних швидкостей, наводити приклади використання законів Кеплера; обґрунтовувати використання законів руху небесних тіл для практичних потреб космонавтики, особливості рухів штучних супутників і автоматичних міжпланетних станцій.
- *Міжпредметні зв'язки:* географія, геометрія, креслення, історія, фізика.

Демонстрації:

- 1) Портрети Птолемея, Коперника, Кеплера, Ньютона.
- 2) Динамічна модель Сонячної системи.
- 3) Фотозображення Сонця і Місяця під час затемнень.
- 4) Презентація «Закони Кеплера».
- 5) Відеофрагмент «Небесна механіка».

Технічні засоби навчання, наочне приладдя:

- 1) Мультимедійний проектор, комп'ютер, CD-презентація «Закони Кеплера».
- 2) Динамічна модель Сонячної системи.
- 3) Атлас «А-11» — с. 4–7.

Обладнання:

- 1) Комп'ютер.
- 2) Мультимедійний проектор, екран.

- 3) Презентація «Закони Кеплера».
- 4) Відеофрагмент «Небесна механіка».

План заняття

Час	Метод навчання	Зміст роботи	Наочне приладдя, ТЗН
0,5 хв	Бесіда	Організаційний момент Перевірка готовності учнів до уроку. Стимулювання діяльності учнів, забезпечення їхньої загальної готовності, забезпечення своєчасного й організованого початку уроку	
1 хв.	Бесіда	Актуалізація знань учнів	
25хв	Бесіда	Пояснення нового матеріалу 1) Розвиток уявлень про Сонячну систему. 2) Петлеподібний рух планет. 3) Йоганн Кеплер та Ісаак Ньютон. 4) Закони Кеплера. 5) Закон всесвітнього тяжіння Ньютона. 6) Конічні перерізи. 7) Ревізія законів Кеплера.	
15 хв		Закріплення нового матеріалу Розв'язування задач	
2 хв		Підбиття підсумків уроку	
1 хв		Домашнє завдання 1. Читати § 9 (п. 2–3). 2. Завдання письмово стор. 47 № 9.1	

ХІД УРОКУ

I. ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ МОМЕНТ

II. АКТУАЛІЗАЦІЯ ЗНАНЬ УЧНІВ

1. Що таке небесна механіка? Що вона вивчає?
2. Про які системи світу ви чули?
3. Як ви вважаєте, чому наша планетна система називається Сонячною?

III. ПОЯСНЕННЯ НОВОГО МАТЕРІАЛУ

Вступне слово вчителя

— Під час проходження астероїдів і комет поблизу Юпітера, помітні відхилення цих об'єктів. Це так звані збурення. На сьогодні збурення враховують під час обчислення положення планет, їх супутників та інших тіл Сонячної системи, а також траєкторій кос-

мічних апаратів, що запускають для їх дослідження. Але ще в XIX ст. розрахунок збурень дозволив зробити одне з найбільш відомих у науці відкриттів «на кінчику пера» — відкриття планети Нептун. Проводячи черговий огляд неба в пошуку невідомих об'єктів, Вільям Гершель 1781 р. відкрив планету, названу згодом Ураном. Через півстоліття стало очевидно, що спостережуваний рух Урана не узгоджується з обчисленнями навіть у разі врахування збурень з боку усіх відомих планет. На основі припущення про наявність ще однієї «зауранової» планети були зроблені обчислення її орбіти і положення на небі. Незалежно один від одного задачу розв'язали Джон Адамс в Англії і Урбен Левер'є у Франції. На основі розрахунків Левер'є німецький астроном Іоганн Галлі 23 вересня 1846 р. виявив у сузір'ї Водолія невідому раніше планету — Нептун. Це відкриття стало тріумфом геліоцентричної системи, найважливішим підтвердженням справедливості закону всесвітнього тяжіння. Надалі в русі Урана і Нептуна були помічені збурення, які стали підставою для припущення, що в Сонячній системі існує ще одна планета. Її пошуки увінчалися успіхом лише 1930 р., коли після перегляду великої кількості фотографій зоряного неба було відкрито Плутон. Тож сьогодні ми вивчимо закони, які дозволи спочатку теоретично передбачити, а потім і знайти небесний об'єкт на зоряному небі.

1. Розвиток уявлень про Сонячну систему

Перша наукова геоцентрична система світу почала формуватися в працях Арістотеля й інших учених Давньої Греції. Свого завершення вона здобула в роботах давньогрецького астронома Птолемея. Відповідно до цієї системи в центрі світу розташована Земля, звідки й пішла назва — геоцентрична. Всесвіт обмежений кришталевою сферою, на якій розташовані зорі. Між Землею і сферою рухаються планети, Сонце і Місяць. Древні вважали, що рівномірний коловий рух — це ідеальний рух і що небесні тіла саме так і рухаються. Але спостереження показували, що Сонце і Місяць рухаються нерівномірно, і для усунення цієї очевидної суперечності довелося припустити, що вони рухаються по колу, центри яких не збігаються ні з центром Землі, ні між собою. Ще більш складний петлеподібний рух планет довелося подати як суму двох колових рівномірних рухів. Така система дозволяла з достатньою для спостережень точністю обчислювати взаємне розташування планет на майбутнє. Петлеподібний рух планет ще тривалий час залишав-

ся загадкою і знайшов своє пояснення тільки в ученні великого польського астронома Миколи Коперника.

1543 року вийшла друком його книга «Про обертання небесних сфер». У ній була викладена нова геліоцентрична система світу. Відповідно до цієї системи в центрі світу знаходиться Сонце. Планети, у тому числі і Земля, обертаються навколо Сонця по колових орбітах, а Місяць — навколо Землі й одночасно із нею — навколо Сонця. Точність під час визначення положень планет збільшилася, правда, незначною мірою, але саме система Коперника дозволила просто пояснити петлеподібний рух планет. Учення Коперника завдало нищівного удару по геоцентричній системі світу. Воно далеко вийшло за рамки астрономії, давши потужний поштовх для розвитку всього природознавства.

2. Петлеподібний рух планет

Неозброєним оком ми можемо спостерігати п'ять планет — Меркурій, Венеру, Марс, Юпітер і Сатурн. Планети належать до тих світил, що не тільки беруть участь у добовому обертанні небесної сфери, але й зміщуються на тлі зодіакальних сузір'їв, тому що вони обертаються навколо Сонця. Саме це є причиною того, що планет, як і Сонця, немає на зоряних картах. Якщо простежити за щорічним переміщенням якоїсь планети, щотижня відзначаючи її положення на зоряній карті, то можна виявити головну особливість видимого руху планети: планета описує на тлі зоряного неба петлю. Це пояснюється тим, що ми спостерігаємо рух планет не з нерухомої Землі, а із Землі, що обертається навколо Сонця.

3. Йоганн Кеплер та Ісаак Ньютон

Два найвидатніших учені набагато випередили свій час. Вони створили науку, що називається небесною механікою, тобто відкрили закони руху небесних тіл під дією сил тяжіння, і навіть якби їхні досягнення обмежилися тільки цим, вони все одно б увійшли до пантеону великих світу цього. Так трапилося, що вони не перетнулися в часі. Тільки через тринадцять років після смерті Кеплера народився Ньютон. Обидва вони були прихильниками геліоцентричної системи Коперника. Багато років вивчаючи рух Марса, Кеплер експериментально відкрив три закони руху планет, ще не розуміючи, чому планети рухаються так, а не інакше. (Тихо Браге, наставник Кеплера, передав своєму учневі дані десятирічних спостережень за рухом Марса.) Це сталося за більш ніж п'ятдесят років до відкриття Ньютоном закону всесвітнього тяжіння. Усі три

закони Кеплера є наслідками закону тяжіння, який відкрив Ньютон у 23 роки. У цей час у 1664–1667 рр. у Лондоні лютувала чума. Трініті-коледж, у якому викладав Ньютон, було розпущено на невизначений термін, щоб не поширювати серед працівників та учнів епідемію. Ньютон повернувся до себе на батьківщину і за два роки здійснив переворот у науці, зробивши три найважливіших відкриття: диференціальне й інтегральне числення, пояснення природи світла і закон всесвітнього тяжіння. Ісаака Ньютона було урочисто поховано у Вестмінстерському абатстві. Над його могилою височіє пам'ятник з погруддям та епітафією «Тут спочиває сер Ісаак Ньютон, дворянин, що майже божественним розумом перший довів зі смолоскипом математики рух планет, шляхи комет і припливи океанів... Нехай смертні радіють, що існувала така окраса роду людського».

Закони Кеплера

Перший закон Кеплера. Усі планети Сонячної системи обертаються навколо Сонця по еліптичних орбітах, в одному з фокусів яких перебуває Сонце.

(Під дією сили тяжіння одне небесне тіло рухається в полі тяжіння іншого небесного тіла по одному з конічних перерізів — колу, еліпсу, параболі або гіперболі.)

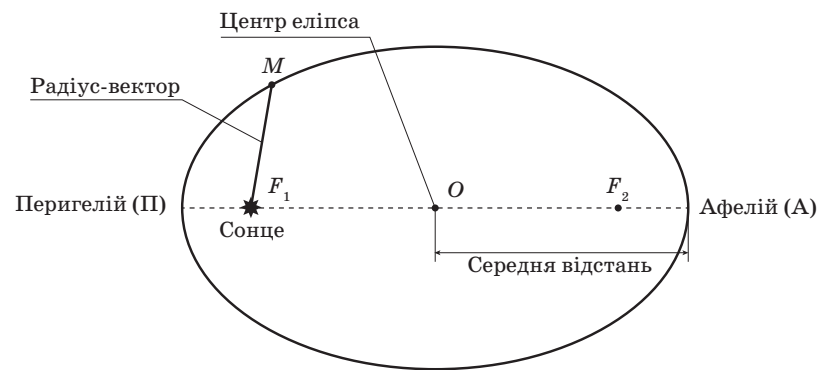
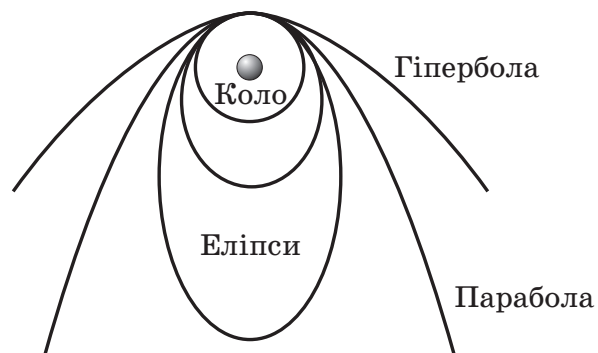


Рис. 8.1

Еліпсом (рис. 8.1) називається плоска замкнута крива, для якої сума відстаней кожної її точки від двох точок, які називаються фокусами, залишається сталою. Ця сума відстаней дорівнює довжині великої осі еліпса. Точка O — центр еліпса, F_1 і F_2 — фокуси. Сонце знаходиться в цьому разі у фокусі F_1 .

Найближча до Сонця точка орбіти називається перигелієм, найвіддаленіша — афелієм. Лінія, що з'єднує будь-яку точку еліпса з фокусом, називається радіус-вектором. Відношення відстані між фокусами до великої осі (до найбільшого діаметра) називається ексцентриситетом e . Еліпс тим сильніше витягнутий, чим більший його ексцентриситет. Велика піввісь еліпса a — середня відстань планети до Сонця.



По еліптичних орбітах рухаються і комети й астероїди. Коло має $e = 0$, еліпса — $0 < e < 1$, парабола — $e = 1$, у гіперболи $e > 1$.

Орбіти планет — еліпси — мало відрізняються від кіл; їх ексцентриситети малі. Наприклад, ексцентриситет орбіти Землі $e = 0,017$.

Орбіта небесного тіла також залежить від швидкості у певній точці простору:

Перша космічна швидкість для тіл, що рухаються по колу, для ШСЗ на низькій навколосемній орбіті — 7,78 км/с:

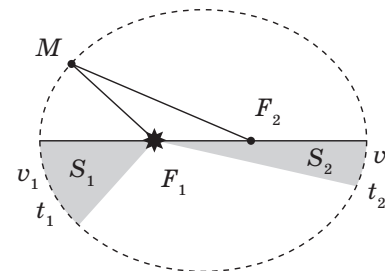
$$v_1 = \sqrt{\frac{G(M+m)}{r}}.$$

Друга космічна швидкість для тіл, що рухаються по параболі, — 11,02 км/с:

$$v_{II} = \sqrt{\frac{2G(M+m)}{r}}.$$

Третя космічна швидкість (тіло покине Сонячну систему) — 42 км/с.

Другий закон Кеплера. Радіус-вектор планети за однакові проміжки часу описує рівні площі: швидкість руху планет максимальна в перигелії й мінімальна в афелії.



Так, швидкість комети Галлея в перигелії дорівнює 55 км/с, а в афелії — 0,9 км/с. Найближчий до Сонця Меркурій оббігає навколо світила за 88 днів. За ним рухається Венера, і рік на ній триває 225 земних діб. Земля обертається навколо Сонця за 365 діб, тобто рівно за один рік. Марсіанський рік майже вдвічі довший від земного. Юпітеріанський рік дорівнює майже 12 земним рокам, а далекий Сатурн обходить свою орбіту за 29,5 року! Словом, чим далі планета від Сонця, тим триваліший на ній рік. Іоганн Кеплер намагався знайти залежність між розмірами орбіт різних планет і часом їх обертання навколо Сонця. 15 травня 1618 р. після безлічі невдалих спроб Кеплер встановив нарешті дуже важливе співвідношення.

Третій закон Кеплера. Квадрати періодів обертання планет навколо Сонця відносяться як куби їхніх середніх відстаней від Сонця:

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}.$$

Основна задача небесної механіки — це дослідження руху небесних тіл під дією сил всесвітнього тяжіння, а саме: обчислення орбіт планет, комет, астероїдів, штучних супутників Землі, космічних апаратів, зір у подвійних і кратних системах. Усі задачі в математичному плані дуже складні і за рідкісним винятком обчислюються тільки числовими методами за допомогою найпотужніших ЕОМ. Однак модельні задачі, у яких тіла розглядають як матеріальні точки, нехтуючи впливом інших тіл, можна розв'язати в загальному вигляді, тобто одержати формули для орбіт планет і супутників. Найпростішою вважають задачу двох тіл, коли одне значно більше за інше і система відліку пов'язана з цим тілом.

Саме для цього випадку три закони руху планет відносно Сонця німецький астроном Йоганн Кеплер вивів емпірично на початку XVII століття. Кеплеру були відомі: координати Марса на небесній сфері із точністю до 2" за даними спостережень Тихо Браге; віднос-

ні відстані планет від Сонця; синодичні і сидеричні періоди обертання планет.

5. Закон всесвітнього тяжіння Ньютона

Ісаак Ньютон зміг пояснити рух тіл у космічному просторі за допомогою закону всесвітнього тяжіння. Він розробив свою теорію в результаті багаторічних досліджень руху Місяця і планет. Але спрощений висновок закону всесвітнього тяжіння можна зробити і з третього закону Кеплера.

Якщо планета і Сонце рухаються по майже колових орбітах, їхні доцентрові прискорення рівні:

$$a_1 = G \frac{m}{R^2}, \quad a_1 = G \frac{M}{R^2}, \quad (1)$$

де m , M — маси планети і Сонця, R — відстань між їхніми центрами.

$\omega = \frac{2\pi}{T}$ — кутова швидкість, де T — період обертання.

$$a_1 = \frac{4\pi^2}{T^2} r_1, \quad a_2 = \frac{4\pi^2}{T^2} r_2, \quad (2)$$

де r_1 і r_2 — відстані до центра мас системи «планета-Сонце».

$$G \frac{m}{R^2} = \frac{4\pi^2}{T^2} r_1, \quad G \frac{M}{R^2} = \frac{4\pi^2}{T^2} r_2, \quad (3)$$

$$G \frac{M+m}{R^2} = \frac{4\pi^2}{T^2} (r_1 + r_2), \quad \frac{R^3}{T^2(M+m)} = \frac{G}{4\pi^2}.$$

Для будь яких двох систем «планета-супутник» або «планета-зоря» можемо записати:

$$\frac{(M_1 + m_1)}{(M_2 + m_2)} \cdot \frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{R_1^3}{R_2^3}. \quad (4)$$

6. Конічні перерізи

Конічні перерізи утворюються під час перетинання прямого кругового конуса з площиною. До конічних перерізів належать криві другого порядку: еліпс, парабола і гіпербола. Усі вони є геометричним місцем точок, відстані від яких до заданих точок (фокусів) чи до заданої прямої (директриси) є величиною сталою. Наприклад, еліпс визначають як геометричне місце точок, для яких сума відстаней від двох заданих точок (фокусів) є величиною стала і дорівнює довжині великої осі.

7. Ревізія законів Кеплера

Отже, Кеплер відкрив свої закони емпіричним шляхом. Ньютон же вивів закони Кеплера із закону всесвітнього тяжіння. У результаті цього зазнали змін перший і третій закони. Перший закон Кеплера був узагальнений, і його сучасне формулювання звучить так: траєкторії руху небесних тіл у центральному полі тяжіння являють собою конічні перерізи (криву II порядку) — еліпс, коло, параболу або гіперболу, в одному з фокусів якої міститься центр мас системи.

Форма траєкторії визначається величиною повної енергії рухомого тіла, що у гравітаційному полі складається з кінетичної енергії K рухомого тіла масою m , швидкістю v і потенціальної енергії U тіла, що перебуває в гравітаційному полі на відстані r від тіла з масою M . При цьому діє закон збереження повної енергії тіла:

$$E = K + U = \text{const}; \quad K = \frac{mv^2}{2}, \quad U = -GM \frac{m}{r}.$$

Закон збереження енергії можна переписати у вигляді:

$$h = \frac{E}{2m} = v_0^2 - \frac{2GM}{r_0}.$$

Константа h називається сталою енергії. Вона прямо пропорційна повній механічній енергії тіла E і залежить тільки від початкового радіус-вектора і початкової швидкості v_0 . За $h < 0$ кінетичної енергії тіла недостатньо для подолання гравітаційного зв'язку. Величина радіус-вектора тіла обмежена зверху, тож відбувається обертання по замкнутій, еліптичній орбіті. Такий рух можна уподібнити руху маятника — той самий перехід кінетичної енергії в потенціальну під час підйому і зворотний — під час опускання. Подібний рух називається фінітним, тобто замкнутим. Для $h = 0$ за необмеженого зростання радіус-вектора тіла його швидкість зменшується до нуля — це рух по параболі. Такий рух — інфінітний, необмежений у просторі. За $h > 0$ кінетична енергія тіла досить велика і на нескінченній відстані від притягувального центра тіло матиме ненульову швидкість віддалення від нього — це рух по гіперболі. Таким чином, можна сказати, що тіло рухається відносно притягувального центра тільки по орбітах, що є конічними перерізами. Як впливає з формули (2), наближення тіла до притягувального центра завжди має супроводжуватися збільшенням орбітальної швидкості тіла, а віддалення — зменшенням згідно

з другим законом Кеплера. Другий закон Кеплера не піддавався ревізії, а от третій було уточнено.

В узагальненому вигляді цей закон зазвичай формулюється (4) так: добуток сум мас небесних тіл і їхніх супутників із квадратами їхніх сидеричних періодів обертання відносяться як куби великих півосей їхніх орбіт:

$$\frac{(M_1 + m_1)}{(M_2 + m_2)} \cdot \frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{R_1^3}{R_2^3},$$

де M_1 і M_2 — маси небесних тіл, m_1 і m_2 — відповідно маси їхніх супутників, R_1 і R_2 — великі півосі їхніх орбіт, T_1 і T_2 — сидеричні періоди обертання. Необхідно зрозуміти, що закон Кеплера пов'язує характеристики руху компонентів будь-яких довільних і незалежних космічних систем. У цю формулу можуть входити одночасно Марс із супутником, і Земля з Місяцем, чи Сонце з Юпітером.

IV. ЗАКРІПЛЕННЯ НОВОГО МАТЕРІАЛУ

1. Як змінюється значення швидкості руху комети під час її переміщення від перигелію до афелію?
2. Як залежить синодичний період зовнішніх планет від відстані до Сонця?
3. Чому космодроми намагаються будувати ближче до екватора?
4. Як змінюється гравітаційне поле усередині Землі?
5. Сформулюйте закони Кеплера.
6. Чому дорівнює середній радіус орбіти планети?
7. До Землі чи до Сонця сильніше притягуються: а) штучні супутники землі; б) Місяць?
8. Чому Сонце не може відірвати Місяць від Землі?
9. Якою повинна бути мінімальна швидкість жульєрнівського снаряда, щоб він потрапив у Місяць? Яку швидкість він матиме біля його поверхні? (Відповідь: 11,1 км/с; 2,3 км/с.)
10. Яка тривалість сидеричного періоду обертання Юпітера навколо Сонця, якщо він у 5 разів далі від Сонця, ніж Земля? Через які проміжки часу повторюються його протистояння?
11. Яку швидкість повинна мати на старті з поверхні Місяця (Марса) ракета, що доставляє на Землю зразки ґрунту?

Запитання до учнів у ході викладу нового матеріалу

1. Як називається найближча до Сонця точка орбіти планети?
2. Як називається найвіддаленіша точка орбіти Місяця?

Що ми дізналися на уроці

- Геоцентрична система світу — система Птолемея (у центрі знаходиться Земля).
- Геліоцентрична система світу — система Коперника (у центрі знаходиться Сонце).
- Усі планети Сонячної системи обертаються навколо Сонця по еліптичних орбітах, в одному з фокусів яких знаходиться Сонце — I закон Кеплера.
- Коло має $e=0$, еліпс — $0 < e < 1$, парабола — $e=1$, у гіперболи $e > 1$ (e — ексцентриситет, ступінь витягнутості еліпса).
- Радіус-вектор планети за однакові проміжки часу описує рівні площі: швидкість руху планет максимальна в перигелії й мінімальна в афелії — II закон Кеплера.
- Квадрати періодів обертання планет навколо Сонця відносяться як куби їхніх середніх відстаней від Сонця — III закон Кеплера.
- Перша космічна швидкість для тіл, що рухаються по колу, для ШСЗ на низькій навколоземній орбіті — 7,78 км/с.
- $v_{II} = \sqrt{\frac{2G(M+m)}{r}}$ — друга космічна швидкість для тіл, що рухаються по параболі, — 11,02 км/с.
- Третя космічна швидкість (тіло покине Сонячну систему) — 42 км/с.

V. ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ

1. Читати § 9 (п. 2–3).
2. Завдання письмово стор. 47 № 9.1.

Урок 9/І–9

Тема. Видимий рух планет. Планетні конфігурації, синодичні та сидеричні періоди. Використання законів руху для визначення відстаней до тіл Сонячної системи, а також розмірів і мас небесних тіл

Цілі:

- *навчальна:* систематизувати поняття про небесні явища: видимий рух і конфігурації планет, що спостерігають в результаті взаємного переміщення і розташування небесних світил відносно земного спостерігача; з'ясувати причини і характеристики космічного явища обертання планет навколо Сонця і його наслідків — небесних явищ; видимого руху внутрішніх і зовнішніх планет на небесній сфері та їх конфігурацій (верхнього та нижнього з'єднання, елонгацій, протистоянь, квадратур);
- *розвивальна:* продовжити формування умінь розв'язувати задачі на застосування основних формул сферичної астрономії при вирішенні відповідних розрахункових завдань і застосовувати рухоми карту зоряного неба, зоряні атласи, довідники, Астрономічний календар для визначення положення і умов видимості небесних світил і протікання небесних явищ;
- *виховна:* продовжити формування наукового світогляду в ході ознайомлення з історією людського пізнання і пояснення причин небесних явищ, обумовлених рухом космічних тіл; з метою формування матеріалістичного світогляду розкрити суперечливе ставлення науки і релігії до проблеми передбачення майбутніх подій на прикладі видимого руху планет.

Нові поняття: ексцентриситет, небесна механіка, закони Кеплера.

- *Учні повинні мати уявлення:* про планетні конфігурації, умови видимості планет в різних конфігураціях.
- *Учні повинні знати:* причини і основні характеристики небесних явищ, пов'язаних з рухом планет навколо Сонця (видимий рух внутрішніх та зовнішніх планет та їх конфігурації), основні класифікації космічних і небесних явищ та відповідні їм геометричні схеми конфігурації, поняття сферичної астрономії: конфігурації планет (верхнє та нижнє з'єднання, елонгації, протистояння, конфігурації), формули зв'язку між сидеричним та синодичним періодами обертання планет.
- *Учні повинні вміти:* розв'язувати задачі на розрахунок положення та умов видимості планет, пояснювати причини петлеподібного руху планет.
- *Міжпредметні зв'язки:* географія, геометрія, креслення, історія, фізика.

Демонстрації:

- 1) Зображення видимого руху планет, планетних конфігурацій.
- 2) Схема Сонячної системи.
- 3) Динамічна модель Сонячної системи.
- 4) Презентація «Конфігурації планет».
- 5) Відеофрагмент «Небесна механіка».

Технічні засоби навчання, наочне приладдя:

- 1) Мультимедійний проектор, комп'ютер, CD-презентація «Конфігурації планет».
- 2) Динамічна модель Сонячної системи.
- 3) Таблиці.
- 4) Атлас «А-11» — с. 4–7.

Обладнання:

- 1) Комп'ютер.
- 2) Мультимедійний проектор, екран.
- 3) Презентація «Конфігурації планет».
- 4) Відеофрагмент «Небесна механіка».

План заняття

Час	Метод навчання	Зміст роботи	Наочне приладдя, ТЗН
0,5 хв	Бесіда	Організаційний момент Перевірка готовності учнів до уроку. Стимулювання діяльності учнів, забезпечення їхньої загальної готовності, забезпечення своєчасного й організованого початку уроку	
6 хв	Робота с тестами	Перевірка домашнього завдання	
25хв	Бесіда	Пояснення нового матеріалу 1) Видимий рух і конфігурації планет 2) Періоди обертання планет 3) Визначення мас небесних тіл та відстаней до них за допомогою законів Кеплера	
15 хв		Закріплення нового матеріалу Розв'язування задач	
2 хв		Підбиття підсумків уроку	
1 хв		Домашнє завдання 1. Читати § 9 (п. 1, 2). 2. Завдання письмово на с. 47 № 6	

ХІД УРОКУ

І. ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ МОМЕНТ

ІІ. ПЕРЕВІРКА ДОМАШНЬОГО ЗАВДАННЯ

Самостійна робота «Закони Кеплера»

Початковий рівень

1. За якими орбітами рухаються планети навколо Сонця? Вкажіть правильну відповідь.
 - а) Коло.
 - б) Еліпс.
 - в) Парабола.

2. Як змінюються періоди обертання планет з видаленням планети від Сонця?
 - а) Чим далі планета від Сонця, тим більше її період обертання навколо нього.
 - б) Період обертання планети не залежить від її відстані до Сонця.
 - в) Чим далі планета від Сонця, тим менше її період обертання.

Достатній рівень

1. Чому дорівнює зоряний період обертання Юпітера, якщо його синодичний період дорівнює 400 добам?
2. Як часто повторюються протистояння Марса, синодичний період якого 1,9 року?
3. Визнач зоряний період обертання Марса, знаючи, що його синодичний період дорівнює 780 добам.
4. Через який проміжок часу повторюються моменти максимальної віддаленості Венери від Землі, якщо її зоряний період дорівнює 225 добам?
5. Чому дорівнює зоряний період обертання Венери навколо Сонця, якщо її верхні з'єднання з Сонцем повторюються через 1,6 року?
6. Яким буде зоряний період обертання зовнішньої планети навколо Сонця, якщо її протистояння будуть повторюватися через 1,5 року?

Високий рівень

1. а) Як змінюється значення швидкості руху планети під час її переміщення від афелію до перигелію?
б) Велика піввісь орбіти Марса 1,5 а. о. Чому дорівнює зоряний період його обертання навколо Сонця?
2. а) У якій точці еліптичної орбіти потенціальна енергія штучного супутника Землі мінімальна, а в якій — максимальна?
б) На якій середній відстані від Сонця рухається планета Меркурій, якщо її період обертання навколо Сонця дорівнює 0,241 земного року?
3. а) У якій точці еліптичної орбіти кінетична енергія штучного супутника Землі мінімальна, а в якій — максимальна?
б) Зоряний період обертання Юпітера навколо Сонця становить 12 років. Яка середня відстань Юпітера до Сонця?
4. а) Що таке орбіта планети? Яку форму мають орбіти планет? Чи можуть зіткнутися планети, рухаючись навколо Сонця?

- б) Визначити тривалість марсіанського року, якщо Марс віддалений від сонця в середньому на 228 млн км.
5. а) О якій порі року лінійна швидкість руху Землі навколо Сонця найбільша (найменша) і чому?
б) Чому дорівнює велика піввісь орбіти Урана, якщо зоряний період обертання цієї планети навколо Сонця становить 84 роки?
6. а) Як змінюються кінетична, потенціальна та повна механічна енергія планети під час її руху навколо Сонця?
б) Період обертання Венери навколо Сонця дорівнює 0,615 земного року. Визначте відстань від Венери до Сонця.

III. АКТУАЛІЗАЦІЯ ЗНАЬ УЧНІВ

1. Що таке небесна механіка? Що вона вивчає?
2. Які системи світу ви знаєте?
3. Як ви вважаєте, чому наша планетна система називається Сонячною?
4. Які планети Сонячної системи ви знаєте? Які спостерігали на зоряному небі?
5. За якими траєкторіями рухаються планети Сонячної системи?

IV. ПОЯСНЕННЯ НОВОГО МАТЕРІАЛУ

У ч и т е л ь. Неоозброєним оком можна побачити п'ять планет — Меркурій, Венеру, Марс, Юпітер і Сатурн. Планету за зовнішнім виглядом не легко відрізнити від зорі, тим більше, що вона не завжди буває значно яскравіше за неї. Планети належать до тих світил, які не тільки беруть участь у добовому обертанні небесної сфери, але ще й зміщуються на тлі зодіакальних сузір'їв. Із цією особливістю планет пов'язано саме слово «планета» — давні греки називали «блукаючі світила».

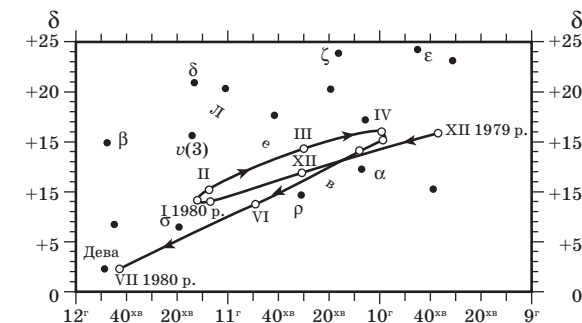


Рис 9.1. Петлеподібний рух Марса

Ще давні люди помітили, що планети, рухаючись по небу, роблять дивні петлеподібні переміщення (рис. 9.1). Перші моделі Сонячної системи, які пояснюють такий рух, були побудовані ще в Стародавній Греції. Найвідомішою з них є система світу Птолемея.

Відповідно до розвитку ідей геліоцентризму петлеподібний рух планет почали пояснювати досить просто (рис. 9.2).

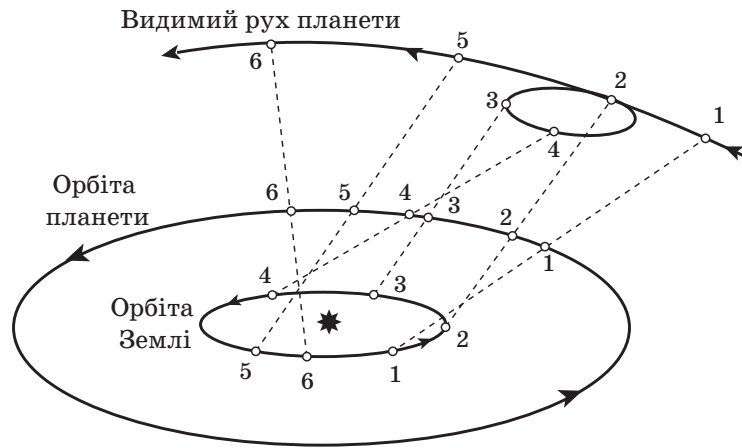


Рис. 9.2. Пояснення петлеподібного руху планет

Те, що планети під час їх спостереження із Землі рухаються по небу то зі сходу на захід, то із заходу на схід (зворотний рух), можна пояснити тим, що на рух планет навколо Сонця накладається ще й рух Землі по своїй орбіті. Моменти зміни напрямку називаються стояннями. Якщо нанести цей шлях на карту, вийде петля.

Конфігурації планет

Траекторія руху небесного тіла називається його орбітою.

Швидкості руху планет по орбітах зменшуються відповідно до віддалення планет від Сонця.

По відношенню до орбіти і умов видимості із Землі планети поділяються на внутрішні (Меркурій, Венера) і зовнішні (Марс, Юпітер, Сатурн, Уран, Нептун, Плутон).

Зовнішні планети завжди повернені до планети й змінюють свої фази подібно до Місяця.

Площини орбіт всіх планет Сонячної системи (окрім Плутона) лежать поблизу площини екліптики, відхиляючись від неї: Меркурій — на 7° , Венера — на $3,5^\circ$; в інших нахил ще менше.

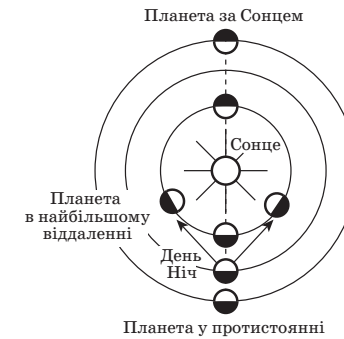


Рис. 9.3

Характерні взаємні положення Сонця, Землі і планет називаються конфігураціями. Однакові конфігурації планет відбуваються в різних точках їхніх орбіт, у різних сузір'ях і в різні пори року (рис. 9.3).

Для внутрішніх планет характерна конфігурація сполучення.

Сполученням називається таке положення планет, коли внутрішня планета перебуває або між Землею і Сонцем, або за Сонцем. У таких випадках вона невидима. Положення планети між Землею і Сонцем називається нижнім сполученням, у ньому планета знаходиться найближче до Землі. Розміщення планети за Сонцем називається верхнім сполученням, причому планета максимально віддалена від Землі.

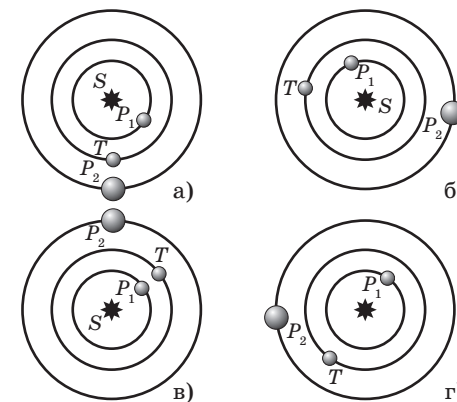


Рис. 9.4. Деякі конфігурації планет: а) внутрішня планета — західна елонгація; зовнішня планета — протистояння; б) внутрішня планета — східна елонгація; зовнішня планета — сполучення; в) внутрішня планета — нижнє сполучення; зовнішня планета — західна квадратура; г) внутрішня планета — верхнє сполучення; зовнішня планета — східна квадратура. Позначення на рисунку: S — Сонце, P_1 — внутрішня планета, P_2 — зовнішня планета, T — Земля.

Внутрішні планети не відходять від Сонця на великі кути (максимальний кут для Меркурія становить 28° , для Венери — 48°). Внутрішні планети спостерігають тільки поблизу Сонця перед його сходом та ввечері відразу після заходу Сонця. Видимість Меркурія не перевищує 1 години, видимість Венери — 4 години.

Найбільші відхилення планет від Сонця на захід називають найбільшою західною елонгацією, на схід — найбільшою східною елонгацією.

Для зовнішніх планет також можлива конфігурація сполучення (положення «за Сонцем»). При цьому вони невидимі для спостерігача із Землі, оскільки губляться в променях Сонця. Положення зовнішніх планет на прямій Земля—Сонце називається протистоянням. Це найбільш зручна конфігурація для спостережень планети.

Із історії астрономії

Існує легенда, начебто Микола Коперник протягом життя жодного разу не бачив цю планету, яка постійно ховається в променях Сонця. Дійсно, у безсмертній праці Коперника «Про обертання небесних сфер» не згадано жодного спостереження Меркурія ним особисто. У своїх розрахунках руху Меркурія Коперник використовує спостереження Птолемея, його сучасника Теона, а також спостереження Б. Вольтера та І. Шонера, виконані в Нюрнберзі в 1491–1504 рр. Однак говорячи про труднощі вивчення Меркурія на широті Кракова, Коперник зауважує: «...усе-таки можна впіймати і його, якщо тільки взятися за це із дещо більшою хитрістю».

У південних широтах побачити цю планету легше, ніж у північних. Складність у тому, що Меркурій не віддаляється від денного світила більше, ніж на 28° . Його регулярно видно то як вечірню зорю, доступну спостереженням лише в перші дві години після заходу Сонця, то як ранкову — за дві години до світанку. А між появами планети на заході і на сході минає від 106 до 130 днів; помітну різницю пояснюють значною видовженістю орбіти Меркурія ($e = 0,21$).

1761 року очікували рідкісне небесне явище: проходження Венери перед диском Сонця. Багато астрономів готувалися до цієї події і навіть споряджали експедиції в далекі краї для спостережень. Адже якщо спостерігати моменти заступання Венери на сонячний диск і сходження з його з різних, віддалених один від одного пунк-

тів Землі, можна обчислити відстань від Землі до Сонця (а. о.), що входить у багато формул небесної механіки.

Готувалися до спостережень і російські астрономи. Їхнім організатором був М. В. Ломоносов. Він направив 2 експедиції до Сибіру: в Іркутськ (під керівництвом Н. і. Попова) і в Селенгінськ (на чолі із С. Я. Румовським), організував спостереження в Петербурзі, на університетській обсерваторії, а сам вирішив спостерігати це явище вдома в невелику трубу. Коли чорний диск Венери сховався із сонячного диска, Ломоносов помітив, що тонка дуга на краю Сонця зігнулася, ніби піднята диском Венери, й утворився яскравий виступ — «пупир», який лопнув, після чого диск Венери злився з темним тлом неба. Це явище вже у XX ст. дістало назву «явище Ломоносова»: припустивши, з чого складається атмосфера Венери, Ломоносов, підсумував своє дослідження так:

«За цими примітками пан радник Ломоносов вважає, що планета Венера оточена знатною повітряною атмосферою, такою (аби не більшою), яку обливає біля нашої кулі земна».

Ломоносов опублікував свою працю російською і німецькою мовами, але вона залишилася непоміченою, і в 90-х роках XVII ст. Вільям Гершель і німецький астроном Йоганн Шретер удруге «відкрили» атмосферу Венери. Зусиллями радянських астрономів пріоритет Ломоносова було відновлено у 50-х роках XX ст..

Видимий рух небесних світил складається з:

- переміщення спостерігача по поверхні Землі;
- обертання Землі навколо Сонця;
- власних рухів небесних тіл.

Для точних розрахунків вчені враховують рух Сонячної системи відносно найближчих зір, обертання її навколо центра Галактики і рух власне Галактики.

2. Періоди обертання планет

Синодичним періодом планети S називається проміжок часу, що протікає між повтореннями її однакових конфігурацій.

Швидкість руху планет тим більше, чим вони ближче до Сонця. Тому після протистояння Земля починає обганяти ті планети, які розташовані далі від Сонця. З часом знову відбудеться протистояння, оскільки Земля обганяє планету на повний оберт.

Можна сказати, що синодичний період зовнішньої планети — це проміжок часу, після закінчення якого Земля обганяє планету на 360° у їхньому русі навколо Сонця.

Сидеричний період T — це час, за який планета здійснює один оберт навколо Сонця по відношенню до зірок.

Між синодичним (S , в добах) і сидеричним (T , в добах) місяцями існує співвідношення. Для планет, що знаходяться між Сонцем і Землею (нижніх), —

$$S = \frac{T \cdot T_{\oplus}}{T_{\oplus} - T};$$

для зовнішніх (верхніх) —

$$S = \frac{T \cdot T_{\oplus}}{T - T_{\oplus}}.$$

Тривалість середніх сонячних діб s для планет Сонячної системи залежить від сидеричного періоду їх обертання навколо своєї осі t , напрямку обертання і сидеричного періоду обертання навколо Сонця.

Для планет, які мають прямий напрямок обертання навколо своєї осі (той же, в якому вони рухаються навколо Сонця), —

$$s = \frac{T - t}{T \cdot t}, \text{ для тих, які мають зворотний напрямок обертання (Венера, Уран), — } s = \frac{T + t}{T \cdot t}.$$

Формули зв'язку синодичного і сидеричного періодів виводять за аналогією з рухом годинникових стрілок. Аналогією синодичного періоду S буде проміжок часу між збігом годинної і хвилинної стрілок, аналогією сидеричних — періоди обертання годинної стрілки ($T_1 = 12$ год) і хвилинної стрілки ($T_2 = 1$ год). Стрілки зустрічаються знову в різних місцях циферблата. Їх кутові швидкості дорівнюють:

$$\omega_1 = \frac{360^\circ}{T_1}; \quad \omega_2 = \frac{360^\circ}{T_2}.$$

Упродовж синодичного періоду часу годинна стрілка описує дугу $n = \omega_1 S = \frac{360^\circ}{T_1} S$, хвилинна стрілка — $360^\circ + n = \omega_2 S = \frac{360^\circ}{T_2} S$,

$$\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} = \frac{1}{S}.$$

3. Визначення мас небесних тіл та відстаней до них

Третій закон Кеплера мав велике значення для визначення масштабів Сонячної системи, тобто відстаней планет від Сонця.

Середню відстань від землі до Сонця прийнято астрономами за одиницю відстані, і називається вона астрономічною одиницею (а. о.):

$$1 \text{ а. о.} = 149\,600\,000 \text{ км.}$$

Якщо за одиницю часу прийняти 1 рік, а за одиницю відстані — середню відстань від Землі до Сонця (астрономічну одиницю), то, визначивши спостережним шляхом період обертання будь-якої планети в роках (T), легко отримати значення великої півосі (a) цієї планети за формулою:

$$a = \sqrt[3]{T^2}.$$

Приклад. Період обертання Марса за спостереженнями дорівнює 1,88 року. Тоді за цією формулою можна обчислити велику піввісь орбіти Марса, яка виявляється рівною 1,52 а. о. Таким чином, Марс приблизно в півтора раза далі від Сонця, ніж Земля.

Встановлені Кеплером закони руху планет ще раз наочно доводять, що світ — це струнка система, керована єдиною силою, джерелом якої є Сонце.

Уточнений третій закон Кеплера дає можливість визначити масу небесного тіла:

$$\frac{T_1^2 (M_{\odot} + m_1)}{T_2^2 (M_{\odot} + m_2)} = \frac{a_1^3}{a_2^3}.$$

Тому із певною точністю можна обчислити відношення маси Сонця до маси планети за формулою:

$$\frac{M_{\odot}}{m} = \left(\frac{T_1}{T} \right)^2 \left(\frac{a}{a_1} \right)^3.$$

Аналогічний вигляд матиме формула для визначення маси планети, що має супутник, якщо цю систему небесних тіл порівняти з іншою планетою та її супутником:

$$\frac{m'}{m_1} = \left(\frac{T_1'}{T} \right)^2 \left(\frac{a'}{a_1} \right)^3,$$

де m' і m_1 — відповідно маси порівнюваних планет; T' і T_1 — періоди обертання супутників планет; a' і a_1 — середні відстані між супутниками планет і планетами.

V. ЗАКРІПЛЕННЯ НОВОГО МАТЕРІАЛУ

1. Заповніть таблицю (права колонка — вже із відповідями).

Космічне явище	Небесні явища, які є наслідком даного космічного явища
Обертання планет Сонячної системи навколо Сонця	- Видимий рух внутрішніх та зовнішніх планет по небу - Конфігурації планет: — сполучення — верхнє і нижнє; — елонгації (найбільші віддалення); — квадратури — східна та західна; — протистояння. - Явища в системі Сонце — внутрішня планета: — проходження Меркурія і Венери через диск Сонця; — зміна фаз внутрішніх планет (Меркурія і Венери). - Явища в системах планет та їх супутників: — зміна положення супутника відносно диска планети; — проходження супутників через диск планет; — затемнення супутників диском планет. - Покриття зір дисками планет (планетних тіл)

- 28 листопада 2000 Юпітер у протистоянні з Сонцем. У якому сузір'ї перебуває планета?
- У якому сузір'ї перебуває Меркурій (Венера), якщо планета зараз у верхньому (нижньому) сполученні з Сонцем?
- 21 липня 2001 Меркурій у найбільшій західній елонгації. У якому сузір'ї в який час доби і впродовж якого терміну можна спостерігати цю планету?
- Марса у протистоянні видно в сузір'ї Терезів. У якому сузір'ї перебуває в цей час Сонце?
- За 2 доби до молодика, 24 листопада 2000 р. Місяць пройшов у 3° на північ від Меркурія. У якому сузір'ї і в який час (вранці або ввечері) слід шукати планету?
- Яка тривалість року на Марсі, якщо між двома протистояннями минає 780,1^d?
- Найбільш зручно спостерігати Меркурій поблизу його елонгацій. Чому? Як часто вони повторюються, якщо рік на Меркурії дорівнює 58,6^d?
- Яка тривалість сидеричного періоду обертання Юпітера навколо Сонця, якщо він у 5 разів далі від Сонця, ніж Земля? Через які проміжки часу повторюються його протистояння?

- У скільки разів відрізняються тривалості року на Меркурії, Венері, Марсі?
- Які умови видимості Землі з поверхні Місяця? орбіти Венери? з поверхні Марса?

Запитання до учнів у ході викладу нового матеріалу

- Визначте період обертання Марса навколо Сонця, якщо його протистояння відбуваються кожні 780 діб?
- Чи може Марс пройти через диск Сонця? Меркурій? Юпітер?
- Чи можна побачити Меркурій увечері на сході? А Юпітер?

Що ми дізналися на уроці

- Характерні взаємні положення Сонця, Землі і планет називаються конфігураціями.
- Сполученням називається таке положення планет, коли внутрішня планета перебуває або між Землею і Сонцем, або за Сонцем.
- Положення планети між Землею і Сонцем називається нижнім сполученням, у ньому планета знаходиться найближче до Землі. Розміщення планети за Сонцем називають верхнім сполученням, причому планета максимально віддалена від Землі.
- Для зовнішніх планет найбільші відхилення планет від Сонця на захід називаються найбільшою західною елонгацією, на схід — найбільшою східною елонгацією.
- Положення зовнішніх планет на прямій Земля—Сонце називається протистоянням.
- 1 а. о. = 149 600 000 км
- Для визначення відстані до планети можна скористатися формулою $a = \sqrt[3]{T^2}$.
- Уточнений III закон Кеплера дозволяє обчислити масу планети:

$$\frac{T_1^2 (M_\odot + m_1)}{T_2^2 (M_\odot + m_2)} = \frac{a_1^3}{a_2^3}$$

VI. ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ

- Читати § 9 (п. 1, 2).
- Завдання письмово на с. 47 № 6.

Урок 10/І-9

Тема. Сонячні та місячні затемнення, частота і умови видимості. Припливні явища

Цілі:

- *навчальна:* пояснити причини і періодичність зміни місячних фаз, а також основні закономірності настання затемнень; дати поняття кутових розмірів Місяця і Сонця; пояснити причини різної періодичності і часу сонячних і місячних затемнень;
- *розвивальна:* з метою розвитку пізнавальних інтересів учнів розглянути питання, що виникають під час спостереження зоряного неба й пов'язані безпосередньо з вивченням цієї теми; навчити визначати фази Місяця за його виглядом на зоряному небі; розповісти про зміну виду серпа Місяця відповідно до зміни широти спостереження;
- *виховна:* з метою формування матеріалістичного світогляду розкрити суперечливе ставлення науки і релігії до проблеми передбачення майбутніх подій на прикладі віщування місячних і сонячних затемнень.

Нові поняття: ексцентриситет, небесна механіка, закони Кеплера.

- *Учні повинні мати уявлення:* про місячні та сонячні затемнення, види затемнень (повні, часткові, кільцеподібні).
- *Учні повинні знати:* причини видимого руху світил (у т. ч. Сонця, Місяця, планет) небесною сферою, причини затемнень;
- *Учні повинні вміти:* пояснити умови і причини затемнень, обґрунтовувати різну кількість сонячних та місячних затемнень.
- *Міжпредметні зв'язки:* географія, геометрія, креслення, історія, фізика.

Демонстрації:

- 1) Рухи Місяця та його фази.
- 2) Схеми сонячних і місячних затемнень.
- 3) Презентація «Місячні та сонячні затемнення».
- 4) Відеофрагмент «Небесна механіка».

Технічні засоби навчання, наочне приладдя:

- 1) Мультимедійний проектор, комп'ютер, CD-презентація «Місячні та сонячні затемнення».
- 2) Динамічна модель Сонячної системи.
- 3) Таблиці.
- 4) Атлас «А-11» — с. 4–7.

Обладнання:

- 1) Комп'ютер.
- 2) Мультимедійний проектор, екран.
- 3) Презентація «Місячні та сонячні затемнення».
- 4) Відеофрагмент «Місячні та сонячні затемнення».

План заняття

Час	Метод навчання	Зміст роботи	Наочне приладдя, ТЗН
0,5 хв	Бесіда	Організаційний момент Перевірка готовності учнів до уроку. Стимулювання діяльності учнів, забезпечення їхньої загальної готовності, забезпечення своєчасного й організованого початку уроку	

Час	Метод навчання	Зміст роботи	Наочне приладдя, ТЗН
6 хв	Фронтальне опитування	Перевірка домашнього завдання	
25 хв	Бесіда	Пояснення нового матеріалу 1) Історичні відомості про затемнення Сонця і Місяця. 2) Рух Місяця. Місячні фази. 3) Причини виникнення сонячних і місячних затемнень	
15 хв		Закріплення нового матеріалу Розв'язування якісних задач (відбувається по ходу, під час викладання нового матеріалу)	
2 хв		Підбиття підсумків уроку	
1 хв		Домашнє завдання 1. Читати § 8. 2. Завдання письмово на с. 42 № 8.2	

ХІД УРОКУ

І. ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ МОМЕНТ

ІІ. ПЕРЕВІРКА ДОМАШНЬОГО ЗАВДАННЯ

У які дні року Сонце досягає zenіту для спостерігача, що знаходиться на земному екваторі? (21 березня і 23 вересня — у дні рівнодень.)

ІІІ. АКТУАЛІЗАЦІЯ ОПОРНИХ ЗНАТЬ

Здавна повелось називати затемнення Місяця і Сонця, зоряні дощі і падіння окремих небесних каменів незвичайними явищами. Однак для людини ХХ століття нічого незвичайного у таких явищах немає. Причини їх добре вивчені. Обізнана, упевнена у силі науки людина ХХ ст. далека від забобонів своїх предків. Вона із заамованим жахом не чекає, що слідом за черговим сонячним затемненням до неї прийде кінець світу, всесвітній потоп чи всеохопний мор.

Але в минулому кожне небесне явище сприймали як знамення, «перст божий», божественне провидіння.

*...И в дельтах рек — халдейский звездочет,
И пастухи иранских плоскогорий,
Прислушиваясь к музыке миров,
К гуденью сфер и тонким звездным звоном,
По вещим сочетаниям светил*

*Определяли судьбы царств и мира.
Все в преходящем было только знак
Извечных тайн, начертанных на небе...*

Особливу роль у формуванні світогляду людини минулого відігравали затемнення Місяця і Сонця. Уміння заздалегідь дізнаватися про майбутні затемнення часто мало доленосне значення, адже йшлося, як вважали, про життя і смерть цілих народів.

IV. ПОЯСНЕННЯ НОВОГО МАТЕРІАЛУ

1. Історичні відомості про затемнення Сонця і Місяця

За свідченням «батька історії» Геродота, видатний давньогрецький астроном Фалес Мілетський здобув популярність ще й тому, що передбачив сонячне затемнення, яке сталося 584 р. до н. е. у Малій Азії під час битви лідійців з мідянами. Воїни були настільки уражені цією подією, що припинили битву.

Історії відомо багато випадків, коли спритність у тлумаченні небесних явищ допомагала рятувати життя.

Під час свого останнього, четвертого, плавання до берегів Вест-Індії Колумб і його матроси раптово опинилися у скрутному становищі. Через застарілі кораблі, що ледь трималися на плаву, Колумб вимушений був припинити плавання і надовго стати табором біля узбережжя Ямайки. Аби помститися за постійні грабежі місцевого населення касики, правителі острова потроху припинили постачати білошкірих прибульців їстівними припасами. Здолати касиків Колумб не міг. Тож перед загрозою голодної смерті йому довелося піти на хитрість.

Припускають, що Колумб завжди мав при собі екземпляр «Ефемерид» — збірника довідкових астрономічних таблиць, виданих у другій половині XV ст. у Нюрнбергу німецьким астрономом Регіомонтаном. «Ефемериди» містили відомості щодо фаз Місяця, рухів планет і майбутніх затемнень приблизно на 30 років уперед. Знаючи з «Ефемерид» Регіомонтана, що увечері 29 лютого 1504 р. станеться місячне затемнення, Колумб пригрозив касикам, що забере у них Місяць. Касики не повірили мореплавцеві. Тож у потрібний момент Колумб запросив їх до себе, розігравши перед касиками сцену «відбирання» і подальшого «повернення» Місяця. З цього моменту продовольчі припаси доставляли в його табір у належній кількості і без усіляких затримок.

Давні спостереження сонячних і місячних затемнень, що ретельно реєструвалися й описувалися, несподівано принесли у наші

дні користь історикам. Знаючи теорію руху Сонця і Місяця, астрономи зуміли обчислити дати затемнень і райони їхньої видимості на багато століть вперед. Затемнення стали «картою часу», тією надійною хронологічною канвою, до якої історики можуть прив'язувати місцеві календарі, ери й інші історичні події, датування яких іншими методами складно зробити.

2. Рух Місяця. Місячні фази

*Звезды близ прекрасной Луны тот час же
Весь теряют яркий свой блеск, едва лишь
Над Землей она, серебром сияя,
Полная встает.*

(Сапфо, 612 р. до н.е., фрагмент 4)

Поетів завжди зачаровував повний Місяць. Його зоряна величина – 12,5, отже, він майже в 25 000 разів яскравіший за зорі першої величини.

Якщо регулярно стежити за Місяцем, то можна спостерігати два його видимих рухи на небі.

Унаслідок добового обертання Землі Місяць щодня сходить на сході, рухається по небу в західному напрямку і заходить на заході.

Місяць щодня змінює своє положення відносно зір приблизно на 13° до сходу. Це відбувається через обертання Місяця навколо Землі і річного обертання навколо Сонця системи Земля—Місяць (рис. 10.1).

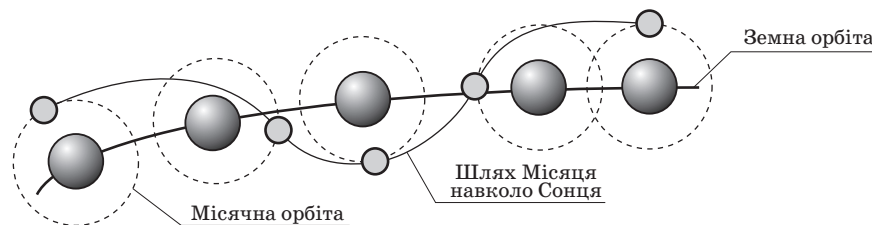


Рис. 10.1

Площина, по якій рухається Місяць, нахилена до площини екліптики під кутом 5°8'.

Вид Місяця регулярно змінюється впродовж кожного місяця. Сонце завжди освітлює половину Місяця, але світла частинка Місяця, яку ми бачимо з Землі і називаємо фазою, увесь час змінюється залежно від взаємного положення Сонця, Місяця і Землі. Розглянемо рисунок 10.2.

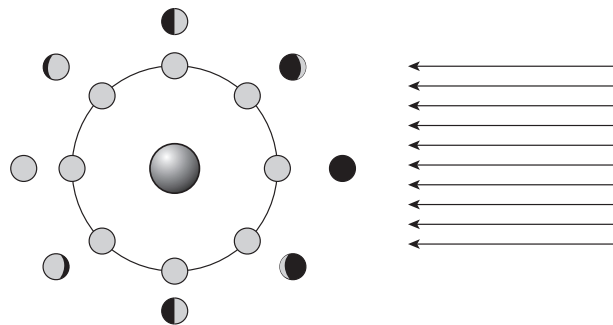


Рис. 10.2

На молодика місяць зазвичай темний. Його не видно на небі, тому що до нас повернуто нічну сторону Місяця. Декількома днями пізніше (через 1–2 доби) Місяць відходить убік від прямої, що з'єднує центри Сонця і Землі, і нам із Землі видний вузький серп, повернений опуклістю до Сонця. На молодика та частина Місяця, що не освітлена прямими сонячними променями, усе-таки трохи видніється на темному тлі Місяця. Першим правильно пояснив причину цього явища Леонардо да Вінчі: попелясте світло виникає завдяки сонячним променям, відбитим від Землі, що повернута в цей час своєю більш освітленою Сонцем півкулею.

Приблизно через 7 днів після молодика, коли Місяць пройде $1/4$ частину свого шляху навколо Землі, він сходить близько полудня, і ми спостерігаємо першу чверть.

Термінатор — границя освітленої Сонцем і темної частини місячного диска — набуває для земного спостерігача вигляду прямої лінії. Освітлена частина Місяця становить рівно половину видимого диска. Оскільки в тих точках Місяця, що знаходяться на термінаторі, надалі настає місячний день, то термінатор називають ранковим.

Через два тижні після молодика Місяць знову перебуває на лінії, що з'єднує Сонце і Землю, однак цього разу не між ними, а з іншої сторони Землі. Настає повня, коли ми бачимо освітлений повний диск Місяця.

Після повні освітлена частина Місяця починає убувати, і з Землі видно вечірній термінатор, тобто границю тієї області Місяця, де настає ніч. Через три тижні після молодика ми знову спостерігаємо освітленим рівно половину диска Місяця. Фаза, яку спостерігаємо, — остання чверть. Видимий серп Місяця день у день стає вужчим і, пройшовши повний цикл змін, до моменту появи молодика зовсім зникає.

Час між однаковими фазами Місяця називають **синодичним місяцем**.

В астрономії існують ще поняття й **сидеричного (зоряного) місяця**.

Швидкість видимого руху Місяця серед зір дорівнює $360^\circ : 27,32 = 13^\circ 18'$, тому що Місяць завершує своє обертання від якої-небудь зорі до тієї ж зорі за 27,32 доби, тобто це є періодом обертання Місяця навколо Землі.

Сидеричним, чи зоряним, місяцем називають період обертання Місяця навколо Землі відносно зір.

Синодичний місяць — це період обертання Місяця навколо Землі відносно Сонця (час між однаковими фазами).

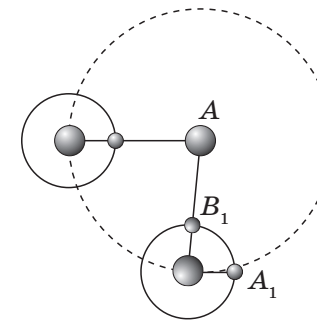


Рис. 10.3

У чому ж полягають відмінності між сидеричним і синодичним місяцем? Місяць робить повний оберт навколо Землі за 27,32 доби. Спочатку він був у положенні A , через час повернувся в попереднє положення A_1 . Відносно зір Місяць зробив повний оберт, але відносно Сонця йому ще треба повернутися у B_1 , що перебуває на радіусі Сонце—Земля. На це піде більше двох діб (синодичний місяць довший за сидеричний (зоряний)). Він дорівнює 29,5 доби (рис. 10.3).

Місяць навколо Землі рухається по еліпсу.

Найближча точка до Землі еліптичної місячної орбіти називається перигеєм, найвіддаленіша — апогеєм.

1) Спостерігаючи на небі неповний диск Місяця, не кожний може безпомилково визначити, молодий це місяць чи уже щербатий.



Рис. 10.4

Мнемонічне правило: зростаючий, *premier* — перший, старий, *dernier* — останній (рис. 10.4).

Цими правилами можна скористатися тільки в Північній півкулі Землі. Вже в Криму й у Закавказзі серп і півмісяць сильно хиляться убік, а південніше вони зовсім лягають. Біля екватора серп Місяця, що висить на горизонті, здається або гондолою, що качається на хвилях, або світлою аркою.

2) Місяць на прапорах



Рис. 10.5

На сучасному прапорі Туреччини зображення серпа і зорі, як на рис. 10.5.

2. Причина утворення сонячних і місячних затемнень

Перш ніж перейти до вивчення причин сонячних чи місячних затемнень, вчитель акцентує увагу учнів на тому, що сонячні затемнення знайомі людству з глибокої давнини. Вони бувають порівняно часто, але видні не з усіх місцевостей земної поверхні, і тому багатьом здаються рідкісними.

Сонячні затемнення відбуваються на молодика, коли Місяць, обертаючись навколо Землі, опиняється між Землею і Сонцем і цілком чи частково заступає його. Місяць розташований ближче до Землі, ніж Сонце, майже в 400 разів, і в той же час його діаметр менший за діаметр Сонця приблизно в 400 разів. Тому видимі розміри Місяця і Сонця майже однакові, і Місяць може закрити собою Сонце.

Здавалося б, сонячні затемнення повинні відбуватися через 29,53 доби, тобто через кожну повню. Насправді ж це не так.

Місяць рухається навколо Землі із заходу на схід, тож його видимий шлях на небі перетинається під кутом 5° з екліптикою — видимим шляхом, яким відбувається уявне річне переміщення Сонця на фоні зір внаслідок обертання Землі довкола нього. Точки перетинання місячного шляху з екліптикою називаються місячними вузлами і відстоять одна від одної на 180° . Місячні вузли увесь час зміщуються по екліптиці до заходу (тобто назустріч руху Місяця) на $19,3^\circ$ за рік чи на $1,5^\circ$ за місяць. Тому Місяць по черзі проходить місячні вузли (тобто перетинає екліптику) через 13,6 доби і в середині цих проміжків віддаляється від екліптики на 5° (рис. 10.6).

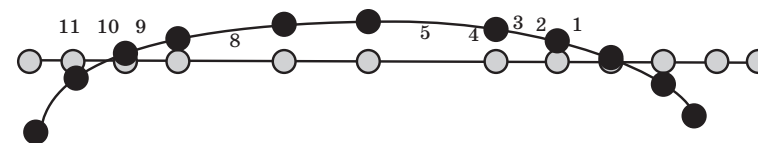


Рис. 10.6

Коли молодик з'являється удалині від місячних вузлів, Місяць не закриває Сонце (нові місяці 1, 2, 6, 7, 8, 9, 13).

Але приблизно через кожні півроку нові місяці бувають поблизу місячних вузлів, і тоді відбуваються сонячні затемнення (3, 4, 5, 9, 10, 11).

Місяць освітлюється Сонцем, і оскільки лінійний діаметр Місяця майже в 400 разів менше від сонячного діаметра, то місячна тінь має форму східного круглого конуса й оточена розбіжним конусом півтіні (див. рис). Коли молодик настає на відстані не більше 11° від місячного вузла, то місячна тінь і півтінь падають на Землю у вигляді овальних плям, що з великою швидкістю, близько 1 км/с, пробігають по земній поверхні із заходу на схід. У районах земної поверхні, що опинилися в місячній тіні (т. А), видно повне сонячне затемнення, тобто Місяць повністю заступає Сонце (рис. 10.7).

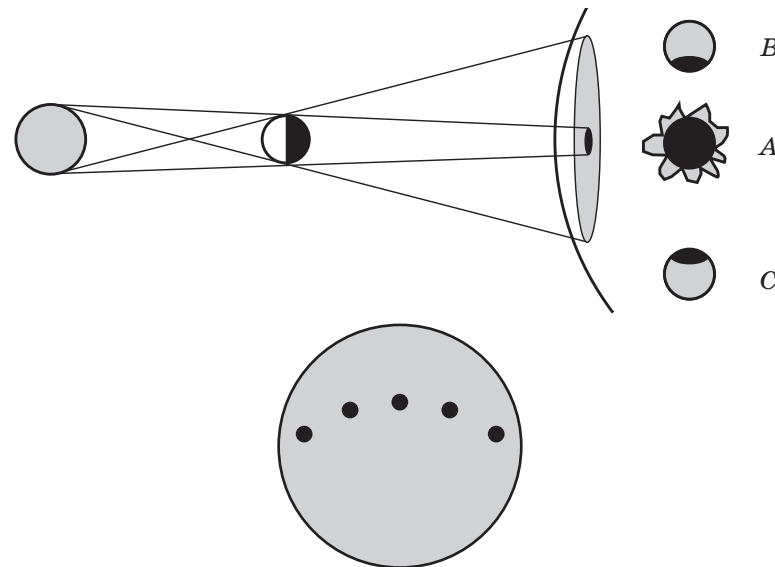


Рис. 10.7

У місцевостях, покритих півтіню, відбувається часткове сонячне затемнення: з Південної зони С півтіні видна закри-

та Північна (верхня) частина сонячного диска, а з північної зони *B* — південна (нижня) його частина. За кордоном місячної півтіні затемнення взагалі не відбувається. Таким чином, сонячне затемнення видне не на всій поверхні Землі, а тільки там, де пробігає тінь і півтінь Місяця.

Шлях місячної тіні по земній поверхні називається смугою повного сонячного затемнення. Ширина цієї смуги і тривалість повного сонячного затемнення залежать від взаємних відстаней Сонця, Землі і Місяця під час затемнення. Найчастіше її ширина буває від 40 до 100 км, а тривалість повної фази затемнення 2–3 хвилини.

Найбільша ж можлива ширина смуги повного затемнення не перевищує 270 км. Тривалість повного затемнення доходить до 7 хв 31 с. Але такі затемнення вкрай рідкісні.

Якщо під час сонячного затемнення Місяць віддалений на найбільшу відстань від Землі, то місячний диск буде трохи менший за сонячний і місячна тінь не доходить до Землі. Навколо темного Місяця видно яскраве кільце незакритої поверхні Сонця, тобто відбудеться кільцеподібне сонячне затемнення, що може тривати до 12 хв. З обох сторін від смуги повного чи кільцеподібного затемнення, іноді до відстані майже в 3500 км, видно тільки часткове затемнення (*B* і *C*) (рис. 10.8).

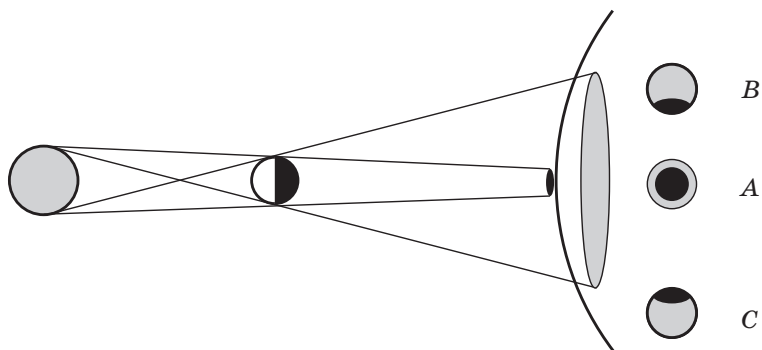


Рис. 10.8

Повне і кільцеподібне сонячні затемнення починаються з часткових фаз. Спостерігати затемнення можна тільки крізь темний світлофільтр. Крізь темне скло добре видно, як Місяць поступово заступає Сонце з його правого краю. Коли ж Місяць цілком закrije Сонце (при повному затемненні), настає півморок, на небі з'являються яскраві зорі і планети, а навколо затемненого Сонця — красиве променисте сяйво перлового кольору — сонячна корона.

Після повного (чи кільцеподібного) затемнення настають спадні часткові фази.

Оскільки молоді місяці поблизу місячних вузлів настають приблизно через півроку (177–178 діб), то щорічно обов'язково буває 2 сонячних затемнення різного виду. Значно рідше можуть наставати 2 молодики поспіль, розділені проміжком часу в 1 місяць, по обидві сторони від того самого місячного вузла, і тоді в кожного вузла відбудеться по два часткових затемнення. Протягом року їх буде 4, а у виняткових випадках 5. Такий випадок стався 1935 р. і до 2006 р. більше не повторювався.

Найчастіше за рік буває 2–3 сонячних затемнення, причому одне з них, як правило, повне чи кільцеподібне. Але оскільки в різні роки місячна тінь пробігає по різних районах земної поверхні, то в кожному районі повні і кільцеподібні затемнення відбуваються дуже рідко. Так, в околицях Москви повне сонячне затемнення було 19 серпня 1887 р., а чергове відбудеться лише 16 жовтня 2126 р. Часткові ж сонячні затемнення спостерігаються в середньому в кожній місцевості через 2–3 роки.

Місячні затемнення відбуваються тоді, коли Місяць потрапляє в земну тінь, що має форму круглого конуса й оточена півтіню (рис. 10.9).

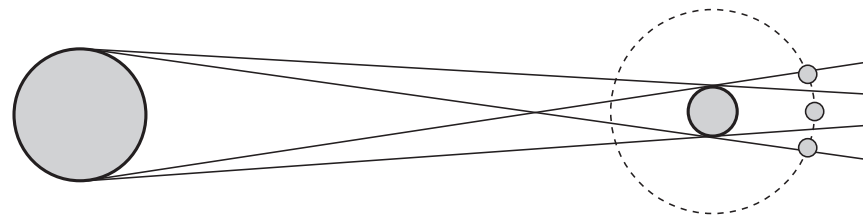


Рис. 10.9

Оскільки земна тінь (рис. 10.9) спрямована у бік, протилежний Сонцю, то Місяць може пройти крізь неї під час повни, коли вони настають поблизу одного з місячних вузлів. Якщо повня настає на відстані 5° від вузла, то Місяць цілком занурюється в земну тінь і відбувається повне місячне затемнення. Якщо ж повня настає на відстані від 5 до 11° від вузла, то місячне затемнення буває частковим, тобто Місяць занурюється в земну тінь не цілком. Коли повні відбуваються на відстані понад 11° від місячного вузла, Місяць у земну тінь не потрапляє, а може пройти крізь земну півтінь. При цьому ослаблення місячного світла практично не відбудеться, і таке затемнення помічене не буде.

Місяць поступово занурюється в земну тінь своїм лівим краєм. У разі повного затемнення Місяця світло, що йде від Сонця, заломлюючись у земній атмосфері, слабко освітлює Місяць переважно червоними променями, тому що вони найменше розсіюються земною атмосферою. Повне місячне затемнення може тривати до 1,8 год, а разом з попередніми і наступними частковими фазами до 3,8 години.

Як правило, щороку відбувається 1–2 місячних затемнення, але бувають роки, коли затемнень зовсім немає. Місячні затемнення видні з усієї нічної півкулі Землі, де в цей час Місяць перебуває над горизонтом. З цієї причини в кожній місцевості їх спостерігають частіше за сонячні, хоча відбуваються вони в 1,5 рази рідше.

Ще в VI ст. до н. е. астрономи встановили, що через $6585\frac{1}{3}$ діб, що складає 18 років $11\frac{1}{3}$ діб (або $10\frac{1}{3}$ діб, якщо в цьому періоді було 5 високосних років), усі затемнення повторюються в одній і тій самій послідовності. Цей період називається саросом і дозволяє заздалегідь визначити дні майбутніх затемнень набагато років уперед. Протягом одного саросу буває 43 затемнення Сонця і 28 затемнень Місяця. Додаючи до дат затемнень, що спостерігалися, можна визначити настання затемнень у майбутньому. Так, затемнення Сонця, що було 25 лютого 1952 р., повторилося 7 березня 1970 р., потім — 18 березня 1988 р. На підставі саросу можна передбачити день затемнення, але без точної вказівки місця видимості і моменту настання затемнення.

Чи є сенс заради швидкоплинних спостережень споряджати настільки вартісні експедиції? Чому астрономи не роблять сонячного затемнення штучно, заслоняючи в телескоп зображення Сонця непрозорим кружком?

Такі спостереження роблять починаючи з 1930 р. завдяки коронографу Б. Ліо (Франція). Він дає можливість вивчати внутрішню корону і хромосферу. Однак кращі знімки корони виходять усе-таки під час повних сонячних затемнень.

Які задачі ставлять собі астрономи під час спостереження сонячного затемнення?

1. Спостереження так званого «обертання» спектральних ліній у зовнішній оболонці Сонця. Лінії сонячного спектра, за звичайних умов темні на світлій лінії спектра, стають світлими на темному тлі; спектр поглинання стає спектром випускання. Це так званий спектр «спалаху».
2. Дослідження сонячної корони. Корона — чудове явище, що спостерігають у моменти сонячних затемнень: навколо чорного

кола Місяця, облямованого вогненними виступами (протуберанцями), виникає перловий ореол розмірів і форми.

V. ЗАКРІПЛЕННЯ НОВОГО МАТЕРІАЛУ

Тест для закріплення

Початковий рівень

- 1) Що називається екліптикою? Вибери правильні твердження.
 - а) Вісь видимого обертання небесної сфери, що з'єднує обидва полюси світу.
 - б) Кутова відстань світила від небесного екватора.
 - в) Уявна лінія, по якій Сонце робить своє видимий річний рух на тлі сузір'їв.
- 2) Зазначте, які з перерахованих нижче сузір'їв є зодіакальними.
 - а) Водолій.
 - б) Стрілець.
 - в) Заєць.
- 3) Зазначте, які з перерахованих нижче сузір'їв не є зодіакальними.
 - а) Телець.
 - б) Змієносець.
 - в) Рак.
- 4) Що називається зоряним (або сидеричним) місяцем? Укажіть правильне твердження.
 - а) Період обертання Місяця навколо Землі відносно зір.
 - б) Проміжок часу між двома повними затемненнями Місяця.
 - в) Проміжок часу між молодиком і повнею.
- 5) Що називається синодичним місяцем? Вкажіть правильне твердження.
 - а) Проміжок часу між повнею і молодиком.
 - б) Проміжок часу між двома послідовними однаковими фазами Місяця.
 - в) Час обертання Місяця навколо своєї осі.
- 6) Вкажіть тривалість синодичного місяця для Місяця.
 - а) 27,3 доби.
 - б) 30 діб.
 - в) 29,5 доби.

Середній рівень

1. Чому на зоряних картах не вказано положення планет?
2. У якому напрямку відбувається видиме річне рух Сонця відносно зірок?

3. У якому напрямку відбувається видимий рух Місяця відносно зір?
4. Яке повне затемнення (сонячне або місячне) триваліше? Чому?
5. Знайдіть на зоряній карті сузір'я, у якому Сонце перебувало 1 травня.
6. Внаслідок чого протягом року змінюється положення точок сходу і заходу Сонця?

Достатній рівень

- 1) а) Що таке екліптика? Які сузір'я на ній знаходяться?
б) Намалуйте Місяць в останній чверті. У який час доби його видно в цій фазі?
- 2) а) Чим обумовлено річний видимий рух Сонця по екліптиці?
б) Намалуйте Місяць між молодиком і першою чвертю.
- 3) а) Знайдіть на зоряній карті сузір'я, у якому сьогодні знаходиться Сонце.
б) Чому повні місячні затемнення спостерігаються в одному і тому ж місці Землі у багато разів частіше, ніж повні сонячні затемнення?
- 4) а) Чи можна розглядати річний рух Сонця по екліптиці як свідчення обертання Землі навколо Сонця?
б) Намалуйте Місяць у першій чверті. У який час доби його видно в цій фазі?
- 5) а) Яка причина видимого світла Місяця?
б) Намалуйте Місяць у другій чверті. У який час доби його видно в цій фазі?
- 6) а) У результаті чого змінюється полуденна висота Сонця протягом року?
б) Намалуйте Місяць між повним місяцем і останньою чвертю.

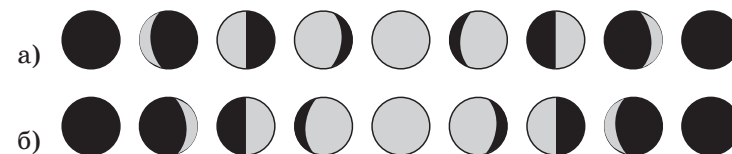
Високий рівень

- 1) а) Скільки разів протягом року можна побачити всі фази Місяця?
б) Полуденна висота Сонця дорівнює 30° , а його схилення дорівнює 19° . Визначте географічну широту місця спостереження.
- 2) а) Чому ми бачимо із Землі тільки один бік Місяця?
б) На якій висоті в Києві ($\varphi = 50^\circ$) відбувається верхня кульмінація зірки Антарес ($\delta = -26^\circ$)? Зробіть відповідне креслення.
- 3) а) Вчора спостерігалось місячне затемнення. Коли можна очікувати найближче сонячне затемнення?

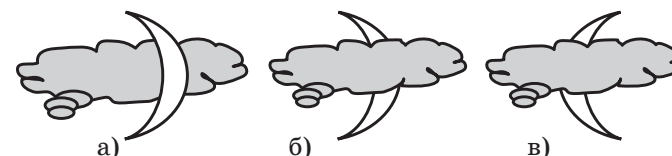
- 4) а) Чому повна фаза місячного затемнення триває набагато довше, ніж повна фаза сонячного затемнення?
б) Яка полуденна висота Сонця 21 березня в пункті, географічна висота якого дорівнює 52° ?
- 5) а) Який мінімальний проміжок часу між сонячними і місячними затемненнями?
б) На якій географічній широті Сонце відбудеться кульмінація опівдні на висоті 45° над горизонтом, якщо в цей день його схилення дорівнює -10° ?
- 6) а) Місяць видно в останній чверті. Чи може через тиждень бути місячне затемнення? Відповідь поясніть.
б) Яка географічна широта місця спостереження, якщо 22 червня Сонце спостерігалось опівдні на висоті 61° ?

Запитання до учнів у ході викладу нового матеріалу

1. Яка з послідовностей місячних фаз відповідає дійсності?



2. Який із рисунків може бути ілюстрацією до уривка з вірша В. Я. Брюсова:



...Снова ночи обнаженные
Заглядятся в воды сонные,
Чтоб зардеться на заре.
Тучка легкая привесится
К золотому рогу месяца,
Будет таять в серебре...?

3. Чи може статися покриття Місяцем зорі Альтаїр, α Орла?

Що ми дізналися на уроці

- Час між однаковими фазами Місяця називають синодичним місяцем.
- У результаті обчислень було встановлено, що щорічно може відбутися не менше 2 і не більше 5 сонячних і не більше 3 місяч-

них затемнень. Протягом саросу відбувається 41–43 сонячних і 26–29 місячних затемнень.

- Сарос — проміжок часу, що включає ціле число сидеричних місяців, драконічних місяців і драконічних років і дорівнює 18 рокам 11,3 доби (10,3 доби). Усі затемнення періодично повторюються через сарос, але оскільки він не містить цілого числа діб, кожне затемнення повторюється за дещо інших умов: шлях місячної тіні по земній поверхні зміщується на 120° .
- Якби Місяць обертався навколо Землі в площині екліптики, то сонячні затемнення відбувалися б на кожний молодик, а місячні — кожної повні — 29,53 доби. Але площина місячної орбіти має нахил — $i = 5^\circ 09''$ до площини екліптики, тож затемнення можуть відбуватися лише тоді, коли Місяць перетинає площину екліптики поблизу своєї повні або молодика (проходить один з вузлів своєї орбіти).
- Максимальна тривалість повного сонячного затемнення не перевищує 7 хвилин 31 секунди.

VI. ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ

1. Читати § 8.
2. Завдання письмово стор. 42 № 8.2.

Урок 11/II-1

Тема. Електромагнітний спектр. Вікна прозорості атмосфери Землі. Розвиток всесвильової астрономії: гамма, рентгенівська, ультрафіолетова, оптична, інфрачервона, радіоастрономія

Цілі:

- *навчальна:* ознайомити учнів з методами пізнання Всесвіту; показати застосування знань з фундаментальних законів фізики для дослідження віддалених об'єктів; ввести поняття всесвильової астрономії та ознайомити учнів з різноманітними приладами, апаратами, за допомогою яких проводять спостереження у різних діапазонах, шкалою електромагнітних хвиль; узагальнити астрофізичні поняття про методи астрономії та способи реєстрації електромагнітного випромінювання космічних тіл;
- *розвивальна:* розширити уявлення учнів про методи пізнання безмежного Всесвіту; продовжити формування наукового світогляду на основі розкриття причинової обумовленості явищ і процесів, що відбуваються на небесних тілах і в космічному просторі;
- *виховна:* продовжити формування патріотичної свідомості шляхом показу досягнень вітчизняної науки в галузі астрофізичних досліджень; раціональної — шляхом розкриття суперечливостей у підході науки і релігії до пояснення причин і характеру небесних явищ.

Нові поняття: вікна прозорості, всесвильова астрономія.

- *Учні повинні мати уявлення:* про діапазони довжин хвиль електромагнітного випромінювання, вікна прозорості атмосфери Землі, способи вивчення небесних об'єктів.
- *Учні повинні знати:* причину існування вікон прозорості в атмосфері Землі, основні принципи дії приймачів випромінювання.
- *Учні повинні вміти:* вести спостереження небесних об'єктів в оптичному діапазоні (за допомогою телескопа).
- *Міжпредметні зв'язки:* фізика.

Демонстрації:

- 1) Таблиця електромагнітного спектра.
- 2) Графік проходження випромінювання крізь атмосферу Землі.

Технічні засоби навчання, наочне приладдя:

- 1) Мультимедійний проектор, комп'ютер, CD-презентація «Очі та руки астрономії».
- 2) Атлас «А-11» — с. 4–7.

Обладнання:

- 1) Комп'ютер.
- 2) Мультимедійний проектор, екран.
- 3) Презентація «Очі та руки астрономії».

План заняття

Час	Метод навчання	Зміст роботи	Наочне приладдя, ТЗН
0,5 хв	Бесіда	Організаційний момент Перевірка готовності учнів до уроку. Стимулювання діяльності учнів, забезпечення їхньої загальної готовності, забезпечення своєчасного й організованого початку уроку	

Час	Метод на-вчання	Зміст роботи	Наочне при-ладдя, ТЗН
1 хв	Бесіда	Актуалізація знань учнів	
25 хв	Лекція	Пояснення нового матеріалу 1) Фотони — джерело інформації. 2) Всехвильова астрономія. 3) Шкала електромагнітних хвиль 4) Завдання астрофізики 5) Позаатмосферна астрономія	Презентація «Очі та руки астрономії»
15 хв		Закріплення нового матеріалу Доповіді учнів. Розв'язання тестів	
2 хв		Підбиття підсумків уроку	
1 хв		Домашнє завдання Читати § 12	

ХІД УРОКУ

Для астрофізиків космос є продовженням фізичної лабораторії, де поглиблено вивчають найважливіші фізичні закони, створюють й перевіряють нові фізичні уявлення і теорії.

I. ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ МОМЕНТ

II. АКТУАЛІЗАЦІЯ ЗНАНЬ УЧНІВ

1. Які джерела інформації про навколишній Всесвіт ви знаєте?
2. Які діапазони шкали електромагнітних хвиль ви знаєте?

III. ПОЯСНЕННЯ НОВОГО МАТЕРІАЛУ

1. Фотони — джерело інформації

Світлова хвиля, як і будь-яка електромагнітна, рухається зі швидкістю світла — 300 000 км/с. Світлову хвилю можна розглядати як потік фотонів. Саме вони приносять нам інформацію про далекі Сонця.

Що являють собою ці далекі Сонця? Які закони їх будови й розвитку? На ці питання, здавалося, людина ніколи не одержить відповіді. Саме так і навчав своїх учнів давньогрецький філософ Сократ (469–399 рр. до н. е.): «Усе це назавжди залишиться таємницею для смертного, і, звичайно, самим богам смутно бачити прагнення людини розгадати те, що вони назавжди сховали від неї...»

Те саме, але двома тисячами років пізніше стверджував відомий філософ Огюст Кант (1798–1857): «Ми нічого не можемо дізнатися про зорі, крім того, що вони існують. Навіть температура їх

назавжди залишиться невизначеною... Ну і, звичайно, не варто займатися астрономією, тому що це порожнє витрачання часу, що не дає ні корисних, ні цікавих результатів...»

Сьогодні ці висловлення ми згадуємо з посмішкою. Адже виявилось, що людина може пізнати закони будови й розвитку як окремих зір, так і Всесвіту загалом. І цьому сьогодні є численні підтвердження. І розповідають про це людині фотони, кванти світла, ці дивні вісники далеких світів.

За іронією долі Кант не дожив усього три роки до відкриття спектрального аналізу, що став потужною зброєю астрономів у їхніх дослідженнях Всесвіту. Вивчаючи світлове випромінювання, що приходить до Землі від далеких зір і галактик, астрономи визначають температуру поверхонь зір, їхні маси і розміри, хімічний й ізотопний склад атмосфери, розподіл густини й температури в надрах, намічають схеми розвитку зір протягом мільярдів років.

У фотона найбільш яскраво виражена подвійність основних ознак елементарних частинок: фотон поширюється як електромагнітна хвиля. Кожний фотон переносить окрему порцію (квант) енергії, що дорівнює $\epsilon = h\nu$, $h = 6,62 \cdot 10^{-27}$ ерг·с.

Світлове випромінювання, що сприймає наше око,— це лише незначна частина надзвичайно широкого діапазону електромагнітних хвиль. В атмосферах зір і космічному просторі виникають і поширюються електромагнітні хвилі (фотони) з найрізноманітнішими довжинами хвиль. Зазвичай довжини хвиль вимірюють в ангстремах ($1 \text{ \AA} = 10^{-8} \text{ см}$).

2. Всехвильова астрономія

Якими ж бувають електромагнітні хвилі?

Їхні властивості різні. І залежать ці властивості від довжини хвилі випромінювання.

а) Світло

Діапазон довжин хвиль видимого світла міститься між 4000 Å (фіолетовий колір) і 7000 Å (червоний колір).

З усіх видів космічного електромагнітного випромінювання до поверхні Землі крізь її атмосферу проходять, практично не слабшаючи, тільки видиме світло, близьке (короткохвильове) інфрачервоне випромінювання і частина спектра радіохвиль.

До 1609 року небесні тіла вивчали неозброєним оком. 1609 року Г. Галілей уперше застосував оптичний телескоп для до-

слідження небесних тіл і зробив ряд відкриттів. Але перші телескопи Галілея були зовсім не досконалі: перша труба телескопа давала всього лише трикратне збільшення. Після вдосконалення телескопа Галілей отримав трубу 30-кратного збільшення.

Завдання телескопа — «вловити» слабкий світловий потік від зір. Щоби вловити світло далеких зір, необхідно було збільшити площу зіниці — у цьому полягало первинне завдання телескопа. Тож найважливішим у телескопі був так званий «вхідний отвір» для світла зір — об'єктив відповідного діаметра (D). Об'єктив — та частина телескопа, яка «дивиться» на об'єкт. Ту частину телескопа, до якої спостерігач прикладає око, називають окуляром (від слова «око»). Об'єктив будує зображення об'єкта (Місяця, планет) або ділянок зоряного неба у фокальній площині. Окуляр, що виконує роль лупи, дозволяє наблизитися до зображення цього об'єкта і розглядати його під більшим кутом, ніж сам об'єкт. Ще одна важлива властивість телескопа — збільшити кут, під яким ми спостерігаємо небесне тіло. Збільшення (n^x) телескопа залежить від фокусної відстані об'єктива (F) і фокусної відстані використовуваного окуляра (f):

$$n^x = \frac{F}{f}.$$

Або його можна визначити як відношення кутових відстаней:

$$n^x = \frac{\rho}{\beta},$$

де ρ — кутова відстань між двома зорями, які розглядають у телескоп, і β — та сама відстань між зорями під час спостереження неозброєним оком.

Зараз астрономи мають оптичні телескопи з діаметром об'єктива 10 м, триває розроблення проектів більших телескопів. Земна атмосфера сильно поглинає випромінювання, тому виведення телескопа за межі атмосфери розширило можливості оптичних телескопів. Космічні телескопи було створено після 1957 року.

б) Інфрачервоне випромінювання

Вільям Гершель розклав сонячні промені в спектр за допомогою скляної призми і помістив у кожну колірну зону однакові термометри. Стовпчик термометра, освітленого червоними променями, піднявся вище за інших, а найнижчим виявилися показання термометра, освітленого фіолетовим світлом. Для контролю

Гершель поставив термометри обабіч границь видимого світлового поля. На його подив, максимально нагрівся термометр в темній зоні поблизу червоної ділянки. Гершель зрозумів, що він виявив невидимі оку промені, і незабаром встановив, що вони відбиваються і заломлюються подібно до видимого світла. Він назвав це випромінювання калорифічним, тобто тепловим; пізніше його перейменували на інфрачервоне (*infra* латиною означає «нижче»). Інфрачервоні промені випускає будь-яке тіло, навіть якщо око не бачить його світіння.

Діапазон інфрачервоних хвиль міститься між 7000 Å і 5 000 000 Å. 5 000 000 Å — це вже півміліметра. Отже, діапазон теплових променів набагато ширший, ніж видимий спектр.

Земна атмосфера пропускає зовсім незначну частину інфрачервоного випромінювання. Його поглинають молекули вуглекислого газу. Світлове випромінювання нагріває поверхню та виробляє тепло, якому назад у космос заважає вийти накопичений в атмосфері вуглекислий газ. Такий ефект називають парниковим. У космосі вуглекислого газу небагато, тому теплові промені з незначними втратами проходять крізь пилові хмари. Саме завдяки інфрачервоному випромінюванню в нашій країні була отримана перша фотографія центра Галактики, закритого від Землі газопиловими хмарами.

Спостереження в ІЧ-променях можна виконувати за допомогою наземних телескопів, встановлених високо в горах, зі стратостатів і навіть з висотних літаків. З розвитком космічної техніки інфрачервоні телескопи почали розміщувати на супутниках.

Інфрачервону астрономію започаткував огляд неба в ІЧ-діапазоні, здійснений уперше міжнародною космічною обсерваторією «IRAS» (InfraRed Astronomical Survey). Обсерваторія вийшла на навколосезну орбіту 1983 р. і пропрацювала там рік. За цей час вченим вдалося багато чого дізнатися про інфрачервоний Всесвіт і про Сонячну систему. Зокрема, було відкрито шість нових комет і пиловий диск навколо Веги. Істотно більші можливості мала запущена в 1989 р. на навколосезну орбіту американська космічна обсерваторія «COBE» (Cosmic Background Explorer). З її допомогою вдалося отримати чітке ІЧ-зображення всього Чумацького Шляху і побудувати модель галактичного диска, вимірявши, зокрема, відстань від площини Галактики до Сонця (близько 40 св. років).

Ультрафіолетове, видиме та інфрачервоне випромінювання утворює так звану оптичну область спектра. Виділення такої області обумовлене не тільки близькістю відповідних ділянок спектра,

але й спільністю методів і приладів, що використовують для їх дослідження.

в) Радіохвилі

Усе електромагнітне випромінювання, довжина хвилі якого перевищує півміліметра, належить до радіохвиль.

Радіохвилі здебільшого без проблем проходять крізь земну атмосферу, і лише деякі з них, які називають короткими, відбиваються від іонізованого шару земної атмосфери. Завдяки цьому можливий зв'язок між радіостанціями, розташованими на протилежних точках планети.

Середовище незначною мірою поглинає радіохвилі, тому вивчення Всесвіту в радіодіапазоні дуже інформативне для астрономів.

Радіоастрономи зазвичай працюють у діапазоні довжин хвиль від декількох міліметрів до 15–20 м. Багато об'єктів Всесвіту, включаючи Сонце, планети, туманності, галактики і особливо такі незвичайні об'єкти, як, наприклад, пульсари і квазари, випромінюють радіохвилі. Але від винаходу радіо до відкриття космічного радіовипромінювання минуло кілька десятиліть. Причина в тому, що радіовипромінювання космічних об'єктів надто слабе, тому для його дослідження необхідні дуже чутливі прилади і величезні приймальні антени.

Радіоастрономічні дослідження дозволяють: а) вивчати космічні об'єкти, дослідження яких іншими методами дає дуже обмежені відомості про їх фізичну природу; б) проводити ряд спостережень вдень і в погану погоду, а також орієнтуватися за радіоджерелами; в) радіолокаційними методами можна уточнити відстані до Місяця, планет і Сонця, а також дослідити метеори.

г) Ультрафіолетове випромінювання

Випромінювання, довжина хвилі якого коротша, ніж у видимих променів фіолетового кольору, називають ультрафіолетовим. Це випромінювання здебільшого шкідливе для живих організмів, однак ультрафіолет не проходить крізь атмосферу Землі, чому сприяє відомий озоновий шар, що активно поглинає небезпечні промені.

Та частина ультрафіолету, що приєднується до видимих променів, доходить до поверхні і спричиняє у нас засмагу. У чорношкірих ця засмага генетично вроджена, адже вона є захисною реакцією шкіри на ультрафіолет.

Ультрафіолет, як ви, напевно, здогадуєтеся, щедро і в усі сторони «розкидає» Сонце. Але, як уже говорилося, Сонце сильніше

за все випромінює у видимих променях. Натомість гарячі блакитні зорі — потужне джерело ультрафіолетового випромінювання. Саме це випромінювання нагріває та іонізує випромінювальні туманності, завдяки чому ми їх і бачимо. Ультрафіолет, відтак, легко поглинається газовим середовищем, тому з далеких областей Галактики Всесвіт до нас майже не доходить, якщо на шляху променів є газові пилові перешкоди.

Ультрафіолетом вважають електромагнітні хвилі довжиною хвилі від 100 до 4000 Å. Діапазон ультрафіолетового випромінювання міститься на електромагнітному спектрі випромінювання на частотах між видимим світлом і діапазоном рентгенівських і гамма-променів. Людське око не бачить ультрафіолетове випромінювання, тому що рогова оболонка ока і очна лінза поглинають ультрафіолет. Джерелом ультрафіолетового випромінювання у галактиках є газові хмари, усередині яких перебувають нещодавно народжені масивні зорі, що випромінюють переважно в ультрафіолетовій області спектра. Ультрафіолетові фотографії небесних об'єктів роблять у космосі за допомогою спеціальних телескопів. Прикладом такого телескопа є 50-сантиметрове дзеркало космічного телескопа «Галекс», створеного для сканування неба в пошуках джерел ультрафіолетового випромінювання. Місія «Галекс» має дві основні мети: вивчення освіти і життя зір у Всесвіті і вивчення галактик в ультрафіолетовому діапазоні. Для вивчення білих карликів, що мають температуру поверхні близько 100 000 К, потрібні спостереження в ультрафіолетовому і м'якому рентгенівському діапазонах.

За один раз «Галекс» охоплює область неба діаметром 1,2°. Це — два кутових діаметри повного Місяця. Огляд тисяч сусідніх галактик чутливими ультрафіолетовими «очима» телескопа дозволив визначити три десятки галактик, які сильно світяться в ультрафіолеті і мають велику схожість з юними галактиками, утвореними всього декілька мільярдів років тому. Це значить, що утворення галактик продовжується і дотепер. Це сенсаційне відкриття змусить заново переглянути всі моделі еволюції Всесвіту.

д) Рентгенівське випромінювання

Наприкінці XIX ст. німецький фізик Вільгельм Рентген відкрив невидимі промені, названі на його честь рентгенівськими. Довжини хвиль променів Рентгена — між 0,1 і 100 Å. Рентгенівські

промені шкідливі для живих організмів. Вони мають велику проникну здатність, тож атмосфера Землі їм не перешкода. Захищає Землю магнітосфера. Вона затримує багато небезпечного випромінювання з космосу. В астрономії рентгенівські промені найчастіше згадуються в розмовах про чорні діри, нейтронні зорі і пульсари. Під час акреції речовини поблизу магнітних полюсів релятивістської зорі виділяється величезна енергія, яка і випромінюється в рентгенівському діапазоні. Потужні спалахи на Сонці також є джерелами рентгенівського випромінювання. Видима поверхня Сонця розігріта приблизно до 6 тисяч градусів, що відповідає діапазону випромінювання. Проте сонячна корона розігріта до температури понад мільйон градусів і тому світиться в рентгенівському діапазоні спектра.

Рентгенівський телескоп «Чандра» (Chandra X-ray Observatory) вийшов у космос 1999 року. Його призначення — спостереження рентгенівських променів, які виходять з областей, де є дуже висока енергія, наприклад в областях зоряних вибухів. Незважаючи на те, що зараз в космос запущено понад десяток апаратів, які проводять спостереження в рентгенівському діапазоні (включаючи телескоп «Ньютон» Європейського космічного агентства), «Чандра» залишається найбільшим і найефективнішим.

Для порівняння потоку рентгенівського випромінювання від космічних джерел також застосовують ще одну позасистемну одиницю — Краб. Це потік випромінювання в заданому спектральному інтервалі від одного конкретного джерела — Крабовидної туманності, або Краба. Такий вибір визначається відносною стабільністю цього джерела, оскільки, на відміну від переважної більшості інших рентгенівських джерел, пульсар в Крабі не входить у подвійну систему і у нього відсутні ефекти, пов'язані з орбітальним рухом, а тому відсутня змінність випромінювання. Крім того, Краб є одним з найяскравіших рентгенівських джерел на небі. З цих причин Краб служить природним калібрувальним джерелом для приладів, що працюють у космосі. Оскільки спектри рентгенівських джерел можуть істотно відрізнятися від спектра Краба, то порівняння потоків, виражених у Крабі, має сенс тільки в тому випадку, якщо ці потоки були виміряні в одному і тому ж спектральному діапазоні, наприклад, порівнюються дані одного і того ж приладу за різними джерелами.

1 Краб становить приблизно $16,4 \text{ кеВ}/(\text{с} \cdot \text{см}^2)$.

е) Гамма-випромінювання

Найкоротші хвилі (менше $0,1 \text{ Å}$) у гамма-променів, які випускають атомні ядра. Це найнебезпечніший вид радіоактивності, найнебезпечніше електромагнітне випромінювання. Енергія фотонів гамма-променів дуже висока, і їх випромінювання відбувається, коли тривають певні процеси усередині ядер атомів. Прикладом такого процесу може бути анігіляція — взаємознищення частинки й античастинки з одночасним перетворенням їхньої маси в енергію. Таємничі гамма-спалахи на небі, що реєструють час від часу, поки аж ніяк не пояснені астрономами. Зрозуміло, що енергія явища, яке спричиняє спалахи, просто грандіозна. За деякими підрахунками, впродовж секунди, що триває такий спалах, він випромінює більше енергії, ніж весь інший Всесвіт. Гамма-випромінювання не пропускає до Землі її атмосфера.

Гамма-випромінювання було відкрито французьким вченим Полем Вілларом 1900 року. Вивчаючи випромінювання радіо в сильному магнітному полі, Віллар виявив короткохвильове електромагнітне випромінювання, що, як і світло, не відхиляється магнітним полем. Воно було названо гамма-випромінюванням.

Апарат, на борту якого знаходяться кілька інструментів для спостережень в гамма-діапазоні, було названо на честь італійсько-американського фізика Енріко Фермі, тож офіційно він тепер іменується як Космічний гамма-телескоп імені Фермі.

Висновок. Ще донедавна позаатмосферна астрономія була долею мрійників. Тепер вона перетворилася у розвинену галузь науки. Результати, отримані на космічних телескопах, без найменшого перебільшення змінили наші уявлення про Всесвіт. За допомогою сучасних телескопів астрономи спостерігають об'єкти, що перебувають на відстані близько 15 млрд світлових років, тобто масштаби світу «збільшилися» у $5-10^{15}$ разів. Космічні апарати дозволяють проводити дослідження в усіх діапазонах довжин хвиль електромагнітного випромінювання (радіо, інфрачервоний, оптичний, ультрафіолетовий, рентгенівський і γ -промені). Тому сучасну астрономію називають всіххвильовою наукою.

3. Шкала електромагнітних хвиль

Довжина електромагнітної хвилі, з одного боку, теоретично може бути якою завгодно малою (але кінцевою), з іншого — якою завгодно великою (але теж кінцевою).

Електромагнітне випромінювання за умови надмалої довжини хвилі дедалі більше схоже на потік частинок.

Граничним випадком нескінченно великої довжини хвилі вважають електростатичне поле.

Реально працюють з електромагнітним випромінюванням довжиною хвилі не більше тисячі кілометрів. Умовно діапазони довжин хвиль мають нижченеведені найменування (див. табл.).

Шкала електромагнітних хвиль

Довжина хвилі, м	Назва діапазону
$10^6 - 10^4$	Радіохвилі: Наддовгі
$10^4 - 10^3$	Довгі
$10^3 - 10^2$	Середні
$10^2 - 10^1$	Короткі
$10^1 - 10^{-1}$	Ультракороткі
$10^{-1} - 10^{-2}$	НВЧ: телебачення
$10^{-2} - 10^{-3}$	Радіолокація
$10^{-3} - 10^{-8}$	Інфрачервоне випромінювання
$10^{-6} - 10^{-7}$	Видиме світло
$10^{-7} - 10^{-9}$	Ультрафіолетове випромінювання
$10^{-9} - 10^{-12}$	Рентгенівське випромінювання (м'яке)
$10^{-12} - 10^{-14}$	Гамма-випромінювання (жорстке)
$< 10^{-14}$	Космічні промені

Проведемо кілька нескладних розрахунків. Від Сонця на кожний квадратний сантиметр земної поверхні перпендикулярно до сонячних променів надходить енергія

$$1,39 \cdot 10^3 \text{ Дж/м}^2 \cdot \text{с}.$$

Середня довжина хвилі цього випромінювання 5000 А, середня частота — $6 \cdot 10^{14}$ Гц.

$$\varepsilon = h\nu = 6,62 \cdot 10^{-34} \cdot 6 \cdot 10^{14} \text{ Дж} = 4 \cdot 10^{-19} \text{ Дж},$$

тобто за одну секунду на згадану площу в 1 м^2 потрапляє

$$\frac{1,39 \cdot 10^3}{4 \cdot 10^{-19}} = 3,5 \cdot 10^{21} \text{ квантів}.$$

Уявімо собі, що ми віддаляємося від Сонця. Тоді потік енергії через обрану площу зменшується обернено пропорційно квадрату відстані до нього. Так, у разі збільшення відстані до Сонця вдвічі кількість квантів світла, що припадає на 1 м^2 , зменшується в 4 рази.

Відстань до найближчих зір у 300 000 разів перевищує відстань до Сонця. Тому і потік енергії від них не менш ніж у 10^{11} раз менше за сонячний. Від такої зорі на один квадратний метр припадає усього $3 \cdot 10^{10}$ фотонів за секунду.

Від далеких галактик на 1 см^2 припадає один фотон за 1000 секунд, і все-таки ми знаємо про ці об'єкти достатньо завдяки сучасним потужним телескопам і різноманітним методам дослідження.

Отже, кожен фотон — це певна порція енергії, що характеризується певною довжиною хвилі. Але одиничний фотон дещо може розповісти про своє походження, про фізичні умови в місці його народження. Інша справа — потік фотонів, квантів широкого діапазону хвиль. Саме зміна потоків світла від різних небесних об'єктів, аналіз розподілу кількості квантів залежно від довжини хвилі (аналіз спектра джерела) і дозволяють робити цілком певні висновки про фізику процесів, що відбуваються далеко за межами нашої планети. Сьогодні астрономи із упевненістю обговорюють найважливіші проблеми будови окремих зір і галактик, будови й еволюції Всесвіту. І в основі цієї впевненості — уявлення про те, що у всіх куточках доступної для огляду частини Всесвіту фізичні процеси відбуваються за законами, неодноразово перевіреними на Землі в лабораторних умовах.

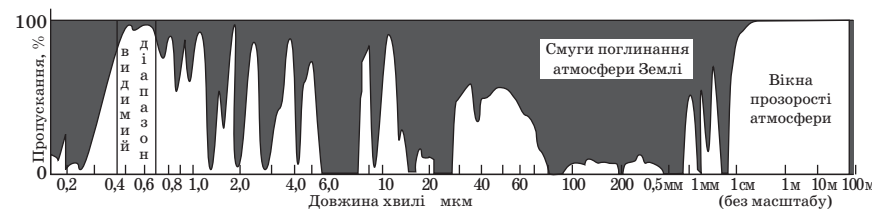


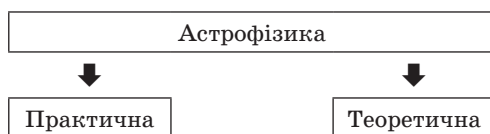
Рис. 11.1

Усі вищеперелічені випромінювання мають різний ступінь проникнення через земну атмосферу (рис. 11.1). Встановлено так звані вікна прозорості атмосфери для різних частот електромагнітного

спектра. На рисунку, розташованому вище, білим кольором виділені діапазони шкали електромагнітних хвиль, прозорі для цього виду випромінювання.

4. Завдання астрофізики

Астрофізика на підставі установлених фізичних законів пояснює фізичні явища, що відбуваються в навколишньому світовому просторі, вивчає будову, фізичні властивості й хімічний склад окремих небесних об'єктів.



Завдання практичної астрофізики — розробити інструменти, прилади й методи астрофізичних досліджень.

Завдання теоретичної астрофізики — займатися теоретичним аналізом результатів, отриманих під час спостережень.

Висновки астрофізики широко використовують і в інших розділах астрономії — зоряній, космогонії, космології. Не можна говорити про будову нашої зоряної системи Галактики, про закономірності розподілу в ній зір і міжзоряної матерії, якщо не відомі, наприклад, її масштаби, відстань до окремих зір і зоряних скупчень. Але ж ця проблема значною мірою розв'язується саме астрофізичними методами.

5. Позаатмосферна астрономія

Позаатмосферна астрономія передбачає спостереження астрономічних об'єктів за допомогою приладів, виведених за межі земної атмосфери на борту геофізичних ракет або штучних супутників. Її основні розділи — це астрономія високих енергій (у рентгенівських і гамма-променях), оптична й ультрафіолетова астрономія, інфрачервона астрономія і зовсім нова космічна інтерферометрія з наддовгою базою.

Астрономічні спостереження з космосу — невід'ємна частина сучасної астрофізики. Зорі, туманності і галактики випромінюють не тільки видиме світло, але й радіохвилі, інфрачервоне, ультрафіолетове, рентгенівське і гамма-випромінювання, що несуть найважливішу інформацію про випромінюваний об'єкт. Однак до поверхні Землі, крім видимого світла, доходять тільки радіо-

хвилі і короткохвильове (1–4 мкм) інфрачервоне випромінювання; атмосфера непрозора для високоенергетичного випромінювання (гамма-, рентгенівського й ультрафіолетового) і майже непрозора для довгохвильового інфрачервоного світла. Тому астрономи, щоби дослідити ці види випромінювання, піднімають прилади над поглинальними шарами атмосфери.

Позаатмосферна астрономія потрібна і для деяких спостережень у видимому світлі. Проходячи крізь атмосферу, світло розсіюється на порошинах, поглинається молекулами озону і води і заломлюється на неоднорідностях густини, внаслідок чого зображення тремтять і стають розмитими. У 1980–1990-х роках була створена техніка адаптивної оптики, спроможна в реальному часі змінювати форму оптичної поверхні (наприклад, дзеркала телескопа) для компенсації атмосферного тремтіння й розмитості. Це істотно підвищило чіткість зображень у наземних телескопів — до десятих часток кутової секунди. Але кращих результатів досягти не вдається. До того ж власне світіння нічної атмосфери і розсіяне у ній світло міських і дорожніх вогнів заважають астрономам вивчати об'єкти низької поверхневої яскравості — туманності і галактики, навіть перебуваючи у віддалених гірських обсерваторіях. У телескопів, що працюють на орбіті, небо набагато темніше і зображення набагато чіткіші.

Для перших позаатмосферних астрономічних спостережень використовували балістичні ракети, що лише на кілька хвилин піднімалися над густими шарами атмосфери. Ще наприкінці 1940-х років учені США виміряли ультрафіолетове випромінювання Сонця, використовуючи захоплені німецькі ракети «Фау-2», що запускали на полігоні Уайт-Сендс (шт. Нью-Мексико). Однак позаатмосферна астрономія реально почала розвиватися, коли короточасні виходи в космос за допомогою висотних ракет були доповнені детальними дослідженнями з борту орбітальних обсерваторій.

IV. ЗАКРІПЛЕННЯ НОВОГО МАТЕРІАЛУ

Тест для закріплення

1. Як збирають інформацію на сучасних телескопах?
 - а) Оком;
 - б) фотоплівкою;
 - в) ПЗЗ-матрицею;
 - г) плівкою.

2. Яке з перерахованих електромагнітних випромінювань має найбільшу довжину хвилі?
 - а) Інфрачервоне;
 - б) видиме;
 - в) ультрафіолетове;
 - г) рентгенівське.
3. Термін «всехвильова астрономія» означає:
 - а) прозорість земної атмосфери для всіх хвиль електромагнітного випромінювання, щонадходить з космосу;
 - б) вивчення небесних об'єктів у всьому діапазоні шкали електромагнітного спектра;
 - в) вивчення невидимих діапазонів електромагнітного спектра у небесних світил.
4. Позасистемна одиниця, яку використовують для вираження щільності потоку випромінювання в радіоастрономії:
 - а) електрон-вольт;
 - б) джоуль;
 - в) 1 ян.
5. Інфрачервоне випромінювання вперше відкрив:
 - а) Е. Хаббл;
 - б) Г. Галілей;
 - в) В. Гершель;
 - г) А. Пензіас.
6. Який вид електромагнітних хвиль має найменшу частоту?
 - а) Рентгенівські;
 - б) ультрафіолетові;
 - в) інфрачервоні;
 - г) радіохвилі.
7. Позасистемна одиниця, яку використовують для вираження густини рентгенівського випромінювання від космічних джерел.
 - а) Кіло-електронвольт;
 - б) джоуль;
 - в) 1 краб.
8. Яка роздільна здатність ока?
 - а) 1 кутова секунда;
 - б) 1 кутова хвилина;
 - в) 10 кутових хвилин;
 - г) 1 градус.
9. Щоб зменшити роздільну силу телескопа, потрібно:
 - а) збільшити фокусну відстань окуляра;

- б) збільшити фокусну відстань об'єктива;
 - в) збільшити діаметр об'єктива;
 - г) збільшити фокусну відстань окуляра і діаметр об'єктива.
10. Назвіть одне відкриття, яке не було зроблено Галілеєм.
 - а) Гори на Місяці;
 - б) фази Венери;
 - в) атмосфера Венери;
 - г) супутники Юпітера.
 11. Перевагою космічних телескопів порівняно з наземними є те, що...:
 - а) у них менше маса;
 - б) їм не потрібні джерела енергії;
 - в) на них не впливають коливання атмосфери;
 - г) на них не впливає світіння атмосфери.
 12. Сонце випромінює значну частину електромагнітної енергії в...:
 - а) радіо- та ІЧ-діапазонах;
 - б) ІЧ- і видимому діапазонах;
 - в) видимому та УФ-діапазонах;
 - г) УФ- і рентгенівському діапазонах.
 13. Електромагнітне випромінювання довжиною хвилі 550 нм у вакуумі сприймають як...:
 - а) радіохвилі;
 - б) інфрачервоне випромінювання;
 - в) видиме світло;
 - г) ультрафіолетове випромінювання.
 14. Використання ПЗС на телескопі дозволяє збільшити:
 - а) фокусну відстань;
 - б) збільшення;
 - в) контраст зображення.
 15. Деякі радіохвилі не досягають земної поверхні через...:
 - а) сонячний вітер;
 - б) атмосферні явища;
 - в) магнітне поле Землі;
 - г) іоносферу.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Відповіді	в	а	б	в	в	г	в	б	в	в	г	б	в	в	г

Запитання до учнів у ході викладу нового матеріалу

1. Як називається найближча до Сонця точка орбіти планети?
2. Як називається найвіддаленіша точка орбіти Місяця?

Що ми дізналися на уроці

- З усіх видів космічного електромагнітного випромінювання до поверхні Землі крізь її атмосферу проходять, практично не слабшаючи, тільки видиме світло, близьке (короткохвильове) інфрачервоне випромінювання і частина спектра радіохвиль.
- Земна атмосфера сильно поглинає випромінювання, тому виведення телескопа за межі атмосфери сприяло розширенню можливостей оптичних телескопів.
- Земна атмосфера пропускає зовсім невелику частину інфрачервоного випромінювання.
- Спостереження в ІЧ-променях можна виконувати за допомогою наземних телескопів, встановлених високо в горах, зі стратостатів і навіть з висотних літаків. З розвитком космічної техніки телескопи почали розміщувати на супутниках.
- Радіохвилі здебільшого легко проходять крізь земну атмосферу, і лише деякі з радіохвиль, які називають короткими, відбиваються від іонізованого шару земної атмосфери. Завдяки цьому відбиттю можливий зв'язок між радіостанціями, розташованими на протилежних точках планети.
- Радіохвилі несильно поглинаються середовищем, тому вивчення Всесвіту в радіодіапазоні для астрономів дуже інформативне.
- Спостереження астрономічних об'єктів за допомогою приладів, виведених за межі земної атмосфери, тобто на борту геофізичних ракет або штучних супутників, називають позаатмосферними.
- Астрономічні спостереження проводять в усіх діапазонах шкали електромагнітних хвиль.

V. ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ

Читати § 12.

Урок 12/II-2

Тема. Оптичні телескопи. Формула збільшення телескопа, а також роздільна здатність та проникна сила. Недоліки оптичних телескопів

Цілі:

- навчальна:** ознайомити учнів із засобами пізнання Всесвіту, показати застосування знань з фундаментальних законів фізики у дослідженні віддалених об'єктів, ознайомити учнів з різними системами телескопів, їх перевагами та недоліками, розказати про найбільші телескопи світу; розглянути принцип дії оптичних телескопів, вплив атмосфери на астрономічні спостереження, вивести формули збільшення телескопа, роздільної здатності та проникної сили;
- розвивальна:** формувати вміння застосовувати теоретичні знання для розв'язування задач на визначення характеристик телескопів;
- виховна:** продовжити виховання патріотичних почуттів через ознайомлення з досягненнями вітчизняної науки і техніки в галузі створення найбільших сучасних телескопів; продовжити формування наукового світогляду школярів шляхом розкриття можливостей пізнання Всесвіт на основі астрономічних і космічних досліджень.

Нові поняття: вікна прозорості, всхвильова астрономія.

- Учні повинні мати уявлення:** про способи вивчення об'єктів Всесвіту.
- Учні повинні знати:** типи телескопів, основні астрономічні обсерваторії України та світу.
- Учні повинні вміти:** вести спостереження небесних об'єктів в оптичному діапазоні (за допомогою телескопа), описувати будову телескопів різних систем, принцип їхньої дії, вплив атмосфери на астрономічні спостереження, переваги рефлектора порівняно з рефрактором, розв'язувати задачі на визначення основних характеристик телескопа.
- Міжпредметні зв'язки:** фізика, математика, креслення.

Демонстрації:

- 1) Телескоп-рефрактор.
- 2) Телескоп-рефлектор.
- 3) Фотографії телескопів для вивчення випромінювання в різних діапазонах.

Технічні засоби навчання, наочне приладдя:

- 1) Мультимедійний проектор, комп'ютер, CD-презентація «Очі та руки астрономії».
- 2) Атлас «А-11» — с. 4–7.

Обладнання:

- 1) Комп'ютер, мультимедійний проектор, екран.
- 2) Презентація «Очі та руки астрономії».

План заняття

Час	Метод навчання	Зміст роботи	Наочне приладдя, ТЗН
0,5 хв	Бесіда	Організаційний момент Перевірка готовності учнів до уроку. Стимулювання діяльності учнів, забезпечення їхньої загальної готовності, забезпечення своєчасного й організованого початку уроку	

Час	Метод навчання	Зміст роботи	Наочне приладдя, ТЗН
1 хв	Бесіда	Актуалізація знань учнів	
25 хв	Лекція	Пояснення нового матеріалу 1) Із історії телескопів. 2) Характеристики телескопів. 3) Астрофотографія	Презентація «Очі та руки астрономії»
15 хв		Закріплення нового матеріалу Доповіді учнів. Розв'язування тестів	
2 хв		Підбиття підсумків уроку	
1 хв		Домашнє завдання Читати § 11 (п. 1, 2)	

ХІД УРОКУ

*Во зрительных трубах Стекло являет нам,
Колико дал творец пространство небесам.
Толь много солнце в них пылающих сияет,
Подвижных сколько звезд нам ясна ночь являет.*

I. ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ МОМЕНТ

Цей урок можна провести у формі уроку-семінару, уроку-конференції, до якого учні готуються заздалегідь. Теми для виконання проекту пропонують заздалегідь. Назва проекту «Фізика на службі людини». Наприкінці розробки уроку наводять карту даного проекту.

II. ПОЯСНЕННЯ НОВОГО МАТЕРІАЛУ

1. З історії телескопів

З грецької «телескоп» перекладають так: «теле» — «далеко», «скопео» — «дивлюся».

Астрофізичні дослідження небесних тіл почалися з XVII ст., коли голландські оптики винайшли «збільшувальну трубу». Першим, хто оцінив роль цього винаходу для астрономії, був професор Падуанського університету Галілео Галілей. Власноруч він виготовив три телескопи зі збільшенням від 3 до 30 разів. До речі, саме тоді збільшувальні труби називали телескопами.

Восени 1609 р. Галілей почав спостереження, пізніше описані в його відомій астрономічній праці «Зоряний вісник». Враження від побаченого були незвичайними. «Я не тямлю себе від здивуван-

ня, — писав він, — тому що встиг перекоонатися, що Місяць являє собою тіло, подібне до Землі». На поверхні Місяця Галілей побачив гори й видолінки. Венера виявилася схожою на маленький Місяць, і зміна її фаз доводила обертання Венери навколо Сонця. Планета Юпітер постала перед здивованим Галілеєм малюсіньким диском, навколо якого оберталися маленькі зірочки — його супутники. Отже, Юпітер із системою своїх місяців виявився зменшеною подобою Сонячної системи. У Сатурна Галілей помітив якісь дивні додавання — сліди його знаменитого кільця. На поверхні Сонця чітко виднілися темні плями, що спростовувало вчення Арістотеля про «недоторканну чистоту небес». Фізичний вигляд знайомих небесних тіл виявився незвичайним. У телескопі Галілей побачив безліч недоступних неозброєному оку зір 7-ї і 8-ї зоряних величин. Деякі «туманності» на зоряному небі складалися з безлічі зір. Сукупністю малосвітних зір виявився і Чумацький Шлях.

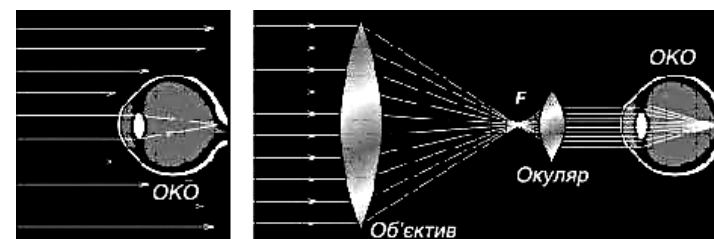


Рис. 12.1

У будь-якому телескопі є об'єктив і окуляр. Об'єктив збирає промені від світила і створює у своєму фокусі його зображення. Це зображення розглядають через сильну лупу, що називається окуляром.

У телескопах Галілея об'єктивом служила плоско-опукла збиральна лінза, а окуляром — розсіювальна плоско-увігнута лінза. За своєю оптичною схемою вони нагадують театральний бінокль.

Йоганн Кеплер 1611 р. запропонував іншу схему, у якій і об'єктив, і окуляр були двоопуклими лінзами. Це розширило поле зору, і тому кеплерівська система телескопа незабаром стала панівною. Перевага телескопів подвійна: вони збирають набагато більше світла, ніж людське око, і збільшують кут зору, під яким спостерігаємо предмет (див. рис. 12.1).

Перші телескопи були вкрай недосконалі. Їхні лінзи спотворювали зображення, інакше кажучи, створювали аберації. Головні з них — сферична і хроматична аберації.

Сферична аберация полягає в тому, що краї лінз сильніше заломлюють світло, ніж їхні центральні частини. З цієї причини промені від об'єктива сходяться в різних точках (фокусах) і зображення виходить нечітким, розмитим.

Хроматична аберация виражається інакше: промені різного кольору заломлюються лінзами по-різному — сильніше над усе фіолетові, найслабше — червоні. Зрештою, зображення в перших телескопах були не тільки розмитими, але й «райдужними», забарвленими в різні кольори.

Чим більше фокусна відстань об'єктива (за того самого діаметра), тим менше аберация. Тому послідовники Галілея будували довгофокусні, надзвичайно громіздкі і важкі в керуванні телескопи. Така ситуація тривала майже півтора століття, і деякі лінзові телескопи тих часів досягали в довжину 40 м. За допомогою складної системи блоків їх закріплювали на високих щоглах, а окулярну частину телескопа залишали на землі. Часом і зовсім обходилися без тубуса (труби) і користувалися «повітряною» системою — об'єктив кріпився на високій щоглі, а окуляр тримали в руках.

До середини XVIII ст. телескопи з однолінзовими системами застаріли, і порятунком у цій ситуації стали багатолінзові об'єктиви і окуляри. Уявіть собі складний об'єктив, що складається з двоопуклої і плоскоопуклої лінз. Якщо підібрати відповідну кривину поверхні лінз і сорти їхніх стекол, аберации однієї лінзи компенсують «протилежні аберации» іншої, і вийде об'єктив, що не дає спотворень. Теоретично така можливість була доведена ще 1695 р. англійським оптиком Дж. Грегорі, а 1733 р. Г. Хол знайшов сорти стекол для складного об'єктива. Його послідовник Дж. Доллонд із 1758 р. почав виготовляти «ахроматичні» об'єктиви, що не давали райдужних зображень.

На початку XIX ст. німецький оптик і астроном Й. Фраунгофер почав виготовляти телескопи, які і за розмірами, і за якістю перевершували телескопи Доллонда. Абсолютний рекорд у змаганні рефракторів було досягнуто 1897 р. На кошти мільйонера Йеркса фірма «Альван Кларк і сини» побудувала велетенський інструмент — рефрактор з діаметром об'єктива 102 см (40 дюймів). 40-дюймовий рефрактор Йеркської обсерваторії, розташований поблизу Чикаго, і дотепер залишається найбільшим рефрактором світу. Будувати ще більші лінзові об'єктиви ніхто не наважується — труднощі, що супроводжують під час їх створення, колосальні, а ефективність надто мала. Поглинання більш товстих лінз зводить

нанівець вигоду від збільшення отвору. Крім того, величезна вага лінз змушує їх прогинатися, що спотворює зображення. У чемпіонаті телескопів пальма першості належить рефлекторам.

Ідея дзеркального телескопа, чи рефлектора, уперше була запропонована ще за життя Галілея Н. Цукіі (1611) і М. Мересеном (1638). Трохи пізніше подібні схеми рефлекторів були теоретично розроблені Д. Грегорі (1663), Кассегреном (1672). 1664 р. Р. Гук навіть виготовив рефлектор за системою Грегорі, однак якість його була настільки низькою, що спостереження з ним не проводили.

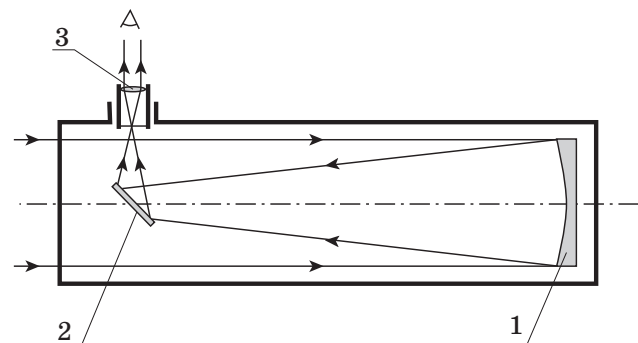


Рис 12.2. Оптична схема телескопа Ньютона

І тільки у 1668 р. Ісаак Ньютон побудував перший діючий рефлектор (рис.12.2). Це був дуже мініатюрний оптичний інструмент, бронзове увігнуте дзеркало якого мало поперечник усього 2,5 см, а його фокусна відстань становила 6 см. Проміні від головного дзеркала відбивалися невеликим плоским дзеркалом у бічний окуляр. Три роки потому Ньютон зробив трохи більший рефлектор з діаметром дзеркала 3,4 см за фокусної відстані 16 см. Таким чином, за об'єктив у рефлекторі править не лінза, а дзеркало.

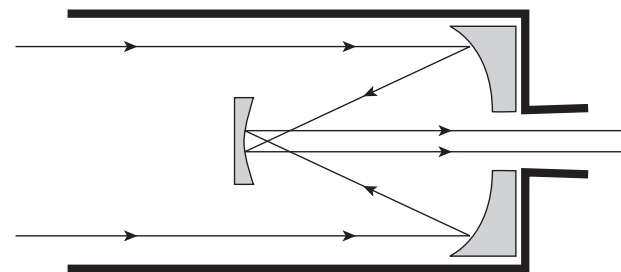


Рис. 12.3. Оптична схема телескопа Грегорі

У системі Грегорі головне дзеркало мало в центрі отвір, куди спрямовували промені, відбиті від увігнутого еліпсоїдального дзеркала (рис. 12.3). Якщо замінити це еліпсоїдальне дзеркало гіперболічним, одержуємо систему Кассегрена.

Рефлектори вигідно відрізняються від рефракторів тим, що в них відсутня хроматична аберация. Якщо головному дзеркалу надати параболічної форми, воно збере всі промені в одному фокусі, і тоді сферична аберация буде усунута. Виготовити дзеркало легше, ніж лінзу, — доводиться шліфувати тільки одну поверхню. Ці та інші переваги забезпечили поширення рефлекторів.

У середині XVIII ст. англійський оптик Д. Шорт організував фабричний випуск високоякісних рефлекторів, найбільший з яких мав поперечник дзеркала 55 см. Численні і часом дуже великі рефлектори будував у XVIII ст. знаменитий основоположник зоряної астрономії Вільям Гершель. Найбільший з його рефлекторів мав металеве дзеркало у поперечнику 122 см. Важило воно близько 10 000 Н і помітно прогиналося під дією власної ваги, через що зображення псувалося. Система блоків і канатів, за допомогою яких інструмент починав рухатися, ускладнювала роботу. Проте Вільям Гершель зумів зробити з ним багато відкриттів.

Ще більший рефлектор з металевим дзеркалом діаметром 2 м побудував 1845 р. ірландський аристократ Вільям Парсонс, що мав титул лорда Росса. Його «Левіафан», як прозвали сучасники рефлектор лорда Росса, залишався найбільшим аж до першої чверті поточного століття.

1917 р. на обсерваторії Маунт-Вілсон (США) установили новий 10-дюймовий рефлектор з поперечником головного скляного дзеркала 258 см і ґратчастим тубусом. Тривалий час він залишався найбільшим телескопом світу, поки уже після Другої світової війни його не перевершив п'ятиметровий рефлектор обсерваторії Маунт-Паломар. Це був перший телескоп, у якому кабіна спостерігача розміщувалася усередині труби.

На сьогодні найбільшими у світі телескопами-рефлекторами є два телескопи Кека, розташовані на Гавайях. Кек-I і Кек-II введені в експлуатацію 1993 і 1996 р. відповідно і мають ефективний діаметр дзеркала 9,8 м. Телескопи розташовані на одній платформі, їх можна використовувати спільно як інтерферометри, роздільна здатність яких відповідає діаметру дзеркала 85 м.

Найбільший в Євразії телескоп БТА знаходиться на території Росії, у горах Північного Кавказу, і має діаметр головного дзеркала

6 м. Він працює з 1976 р. і тривалий час був найбільшим телескопом у світі.

Найбільшим у світі телескопом з цільним дзеркалом є Large Binocular Telescope, розташований на горі Грехем (США, штат Арізона). Діаметр обох дзеркал становить 8,4 метра.

11 жовтня 2005 р. в експлуатацію був запущений телескоп Southern African Large Telescope в ПАР з головним дзеркалом розміром $11 \times 9,8$ м, що складається з 91 однакових шестикутників. 13 липня 2007 р. перше світло побачив телескоп Gran Telescopio Canarias на Канарських островах діаметром дзеркала 10,4 м, який є найбільшим оптичним телескопом у світі станом на першу половину 2009 року.

2. Характеристики телескопів

Дехто вважає, що найголовніша характеристика телескопа — його збільшення, залежно від якого у телескоп можна більше побачити. Це не зовсім так: цінність телескопа визначається в першу чергу розмірами його об'єктива. Важливіше за все зібрати якнайбільше світла від випромінюваного небесного об'єкта.

Телескоп — астрономічний прилад, застосовуваний для спостереження космічних об'єктів.

Телескоп має три основні призначення:

1. Збирати випромінювання від небесних світил на приймальний пристрій (око, фотографічну пластинку, спектрограф і ін.);
2. Будувати у своїй фокальній площині зображення об'єкта або певної ділянки неба;
3. Допомогти розрізнити об'єкти, розташовані на близькій кутовій відстані один від одного, що непомітно неозброєним оком.

Найважливішими характеристиками телескопа є проникна сила, кутове збільшення і роздільна здатність.

Проникна сила телескопа характеризується граничною зоряною величиною m найслабшої зорі, яку можна побачити в цей інструмент за найкращих умов для спостережень. Для таких умов проникну силу можна визначити за формулою:

$$m = 2,1 + 5 \lg D,$$

де D — діаметр об'єктива в міліметрах.

Діаметр об'єктива, мм	Гранична зоряна величина
60	11,0 ^m

Діаметр об'єктива, мм	Гранична зоряна величина
100	12,1 ^m
200	13,6 ^m
500	15,6 ^m
1000	17,1 ^m

Роздільна здатність — мінімальний кут між двома зорями, які видно роздільно. Якщо неозброєним оком можна розрізнити дві зорі з кутовою відстанню не менше 1', то телескоп дозволяє зменшити цю межу в Γ разів. Відносне збільшення (або просто збільшення) показує, у скільки разів кут, під яким видно об'єкт під час спостереження в телескоп, більше, ніж у разі спостереження оком. Збільшення дорівнює відношенню фокусних відстаней об'єктива й окуляра:

$$\Gamma = \frac{F_{\text{об}}}{f_{\text{ок}}}.$$

Обмеження на граничне збільшення накладає явище дифракції — дифрагування світловими хвилями країв об'єктива. Через дифракції замість зображення точки виходять кільця. Кутовий розмір центральної плями (теоретична роздільна здатність):

$$\delta = \frac{\lambda}{D}.$$

Роздільна здатність може обчислюватися за формулою:

$$\delta = \frac{140}{D},$$

де δ — роздільна здатність у секундах, D — діаметр об'єктива в міліметрах.

Для довжини хвиль при $\lambda = 550$ нм на телескопі діаметром $D = 1$ м теоретична кутова роздільна здатність буде єдиною — $\delta = 0,1''$.

3. Астрофотографія

У 40-х роках минулого століття французи Ньєпс і Даггер винайшли фотографію. Ще раніше, 1822 р. Ньєпс намагався за допомогою об'єктива відтворити зображення предмета на асфальтовому розчині, але «закріпити» його не вдалося. 1835 р. Даггер у шарі йодистого срібла винайшов приховане зображення, яке йому вдалося виявити парами ртуті. Так з'явилися «дагеротипи», що потребували

великих експозицій — хвилини і десятки хвилин. Незважаючи на це, вже 1841 р. удалося одержати перший дагеротип Місяця, на якому цілком виразно можна розрізнити деталі місячного рельєфу.

1845 р. у Гарвардській обсерваторії почалося систематичне фотографування Сонця, Місяця і зір. 1874 р. був опублікований перший докладний фотоатлас Місяця. У Франції брати Поль і Проспер Анрі 1885 р. одержали фотографічні зоряні карти, на яких були зафіксовані зорі до 16-ї зоряної величини. Два роки потому в Парижі відбувся перший астрофотографічний конгрес, на якому 18 обсерваторіям було доручено скласти фотоатлас усіх зір до 14-ї зоряної величини, загальне число яких складало близько 20 млн.

Лише наприкінці минулого століття в практику астрофотографії увійшли броможелатинові пластинки високої чутливості, а 1891 р. Ліпман винайшов кольорову фотографію. На сьогодні астрономи використовують пластинки і плівки, чутливі не тільки до видимих променів, але й інфрачервоних та ультрафіолетових променів.

Інструменти, призначені для фотографування небесних тіл, називаються астрофотографами. Будь-який телескоп можна використовувати як астрофотограф, якщо його окулярну частину замінити фотопластинкою або плівкою.

Значне поширення фотографії в сучасній астрономії пояснюється низкою її переваг порівняно з візуальними спостереженнями. Це насамперед **інтегральність**, тобто здатність поступово накопичувати енергію випромінювання, що йде від світила. Тому відповідно до збільшення експозиції (у розумних межах) на фотопластинці запам'ятовуються дедалі слабші зорі. Експозиції при цьому можуть бути дуже великими. Так, наприклад, на астрографі Московської обсерваторії зорі до 16-ї зоряної величини фіксують лише впродовж годинної експозиції.

Астрографи можуть легко фіксувати такі надзвичайно швидкі явища, як метеори. Те, що не встигає розглянути око, упевнено запам'ятовує фотопластинка. Ця перевага астрофотографії називається **моментальністю**.

Око часом не здатне відразу зосередити увагу на всіх деталях картини, що відкрилася в полі зору телескопа. Фотопластинка легко фіксує всю панораму, і таку її властивість називають **панорамністю**.

Оку властива суб'єктивність сприйняття, різні перекичування і помилки під час спостережень. Фотопластинка об'єктивно свідчить про те, що відбувається, й **об'єктивність** також належить

до переваг астрофотографії. Їй так само притаманна і документальність — якість, що пояснює, чому в багатьох обсерваторіях зберігаються «скляні бібліотеки», які складаються з багатьох тисяч негативів.

Останнім часом для астрофотографії використовується не фотоплівка, а електронні перетворювачі світла (так звані приладі із зарядовим зв'язком — ПЗЗ-матриці).

III. ЗАКРІПЛЕННЯ НОВОГО МАТЕРІАЛУ

1. Чому астрономи прагнуть будувати телескопи з об'єктивами якомога більшого діаметра?
2. Чи можна розглянути у звичайний телескоп диски зір? Відповідь аргументуйте.
3. Діаметр об'єктива найбільшого наземного телескопа 10 м, діаметр об'єктива телескопа Хаббла, що працює в космосі, — 2,4 м. Порівняйте кутове розділення цих двох телескопів і поясніть, чому телескоп Хаббла дає астрономам інформацію набагато ціннішу, ніж наземний телескоп.

Запитання до учнів у ході викладу нового матеріалу

1. Поясніть основну відмінність між телескопом-рефлектором і телескопом-рефрактором.
2. На схемі телескопа-рефрактора вкажіть та поясніть призначення об'єктива, окуляра.
3. Що визначає розмір зображення об'єкта в телескопі?
4. Поясніть, чому зоря, яка в разі спостереження неозброєним оком видається одиничною, у разі спостереження в телескоп може бути розділена на дві розташовані поблизу зорі?
5. Який телескоп — рефлектор чи рефрактор — потрібно використати для того, щоб отримати кольорову якісну фотографію зір, запобігши хроматичній аберації?

Що ми дізналися на уроці

- Телескоп — астрономічний прилад, що застосовується для спостереження космічних об'єктів.
Призначення телескопа:
- збирати випромінювання від небесних світил на приймальний пристрій (око, фотографічну пластинку, спектрограф та ін.);
- будувати у своїй фокальній площині зображення об'єкта або певної ділянки неба;

- допомогти розрізняти об'єкти, розташовані на близькій кутовій відстані один від одного, що непомітно неозброєним оком.
- Характеристики телескопа: проникна сила, роздільна здатність, відносний отвір і кутове збільшення.

Проникна сила телескопа характеризується граничною зоряною величиною m найслабшої зорі, яку можна побачити в цей інструмент за найкращих умов для спостережень	$m = 2,1 + 5 \lg D$
Відносне збільшення (або просто збільшення) показує, у скільки разів кут, під яким видно об'єкт, який спостерігають у телескоп, більший, ніж у разі спостереження оком. Збільшення дорівнює відношенню фокусних відстаней об'єктива і окуляра	$\Gamma = F_{\text{об}} / f_{\text{ок}}$
Роздільна здатність — мінімальний кут між двома зірками, які видно роздільно, де δ — роздільна здатність у секундах, D — діаметр об'єктива в міліметрах	$\delta = \lambda / D,$ $\delta = 140 / D$

IV. ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ

Читати § 11 (п.1, 2).

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 3

«МОДЕЛЮВАННЯ ДІЇ ТЕЛЕСКОПА-РЕФРАКТОРА ТА ПІДЗОРНОЇ ТРУБИ ЗА ДОПОМОГОЮ ПАРИ ЛІНЗ»

Для створення телескопа потрібно окулярне скло силою в 1 діоптрій (фокусна відстань 1 м), що являє собою меніск (опукло-увігнуту лінзу) діаметром 60–80 мм. Окуляром може служити просте збільшувальне скло фокусною відстанню 20–70 мм, об'єктив від фотоапарата, окуляр від бінокля, зорової труби, мікроскопа тощо.

Крім об'єктива і окуляра, потрібні кілька аркушів ватману, клей (ПВА, столярний, епоксидний), товстий і тонкий картон. Для виготовлення штатива потрібні будуть рейки перерізом приблизно 25×15 мм, 5-міліметрова фанера, обрізки дюймової дошки, кілька дрібних шурупів, три довгих і один короткий болти М6 з гайками-«баранчиками», клей.

Порада. Окулярні стекла зазвичай мають мітку у вигляді точки біля центра, яка вказує на оптичний центр лінзи. Він може значно відрізнятися від геометричного центра, це враховують під час виготовлення окулярів (під час обробки скла). Бажано вибрати скло, у якому оптичний центр відрізняється від геометричного на невелику величину.

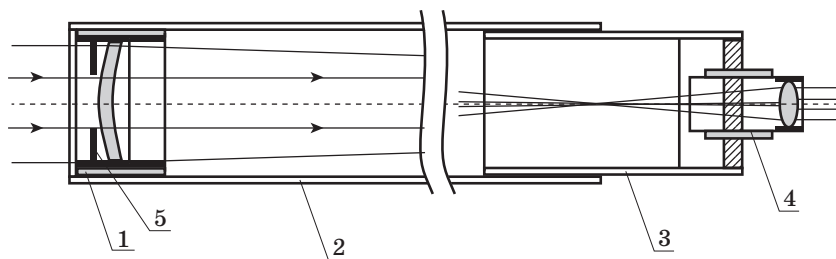


Рис. 12.4

Починати краще за все з виготовлення оправи об'єктива (див. рис. 12.4, поз. 1), діаметр якої, а отже, і діаметр труби, залежатиме від розміру придбаного окулярного скла. Оправою буде служити трубка, склеєна з ватману в кілька шарів. Внутрішній діаметр оправи дорівнює діаметру нашої лінзи, а довжина — 70–80 мм. Лінза фіксується двома паперовими або картонними кільцями, які щільно вставляють всередину оправи, затискаючи з двох сторін скло. Оправа має бути досить жорсткою.

Потім необхідно склеїти з декількох шарів ватману головну трубу телескопа (поз. 2). Це можна зробити, намотуючи аркуші на вже готову оправу і щільно промащуючи клеєм внутрішню поверхню паперу. При цьому потрібно стежити, щоб папір не перекошувався. Довжина труби повинна бути трохи (на 150–200 мм) менше від фокусної відстані об'єктива. Рухома трубка (поз. 3) служить для фокусування, тобто для поєднання фокальних площин об'єктива і окуляра. Вона повинна легко рухатися «на терті», але не теліпатися. Її склеюємо з ватману, так само як головну трубу нашого телескопа.

Оправу окуляра можна вставити безпосередньо в рухому трубку, але краще, особливо якщо діаметр окуляра малий, зробити нескладний фокусувальний вузол. Основою вузла буде служити кільце з фанери (випиляти лобзиком і просвердлити отвір) або двох-трьох шарів товстого картону. Вузол працює «на терті», і конструкція його зрозуміла з креслення (поз. 4). Поверхню нерухомої трубки окулярного вузла можна обклеїти оксамитом або сукном (для зниження тертя) рухома можна підібрати або виточити металеву, а можна склеїти з декількох шарів не дуже товстого, але цупкого гладкого паперу. Її необхідно зробити достатньо жорсткою.

Шляхом пересування рухомої трубки телескопа фокальні площини об'єктива і окуляра грубо поєднуються (при цьому одну і ту саму трубу можна використовувати з різними об'єктивами), а окулярний вузол дозволяє досягти точного фокусування.

Випробування телескопа

Збільшення телескопа дорівнює фокусній відстані об'єктива, поділеній на фокусну відстань окуляра.

На практиці можна одержати інструмент з 20–50-кратним збільшенням. Цього достатньо для того, щоб побачити багато чого з того, що прикрашає нічне небо, але недоступне неозброєному оку, наприклад, яскраві туманності, кільце Сатурна, диск і супутники Юпітера, не кажучи вже про захопливі панорами Місяця.

Отже, телескоп готовий, клей просох, внутрішні поверхні труби і оправ затемнено тушшю, і можна приступати до перших випробувань. Поєднавши фокальні площини об'єктива і окуляра і розташували трубу для стійкості на підвіконні, спробуємо «навести на різкість» переміщенням трубки з окуляром. Швидше за все, навіть за найкращого фокусування зображення буде вкрите «серпанком». Це відбувається тому, що тільки центральна частина окулярного скла будує неспотворене зображення. Закривши крайні частини нашого об'єктива непрозорим екраном, ми дістанемо гарне зображення. Такий екран називається діафрагмою (див. рис. поз. 5). Доцільно зробити кілька діафрагм — за кількістю окулярів, тому що за малих збільшень аберації помітні менше, а за великих — сильніше. Діафрагму виготовляють у вигляді круга з картону з отвором 10–30 мм посередині, фарбують у чорний колір і вставляють в оправу об'єктива перед окулярним склом. За збільшень у 10–20 крат можна використовувати 30-міліметрову діафрагму — це дозволить побачити більше слабких об'єктів (зірок і туманностей), у разі спостереження Місяця зі збільшенням 50–100 крат отвір об'єктива доведеться зменшити до 15–10 мм. У всіх випадках збільшення і діаметр діафрагми потрібно буде визначати дослідним шляхом.

Найпростіший штатив

Тепер, коли телескоп побудовано і випробувано, постає необхідність у спорудженні простої установки для того, щоб спостереження в нього були досить комфортними. Справа в тому, що навіть за незначного, 10–20-кратного збільшення тремтіння зображення робить спостереження «з рук» практично неможливим. Тому необхідно побудувати нескладний штатив.

Штатив буде складатися з триноги і вузла осей. Триногу зберемо із рейок перерізом приблизно 25 × 15 мм, з'єднавши їх між собою для жорсткості дерев'яними перемичками. Це будуть ніжки шта-

тива, які потрібно прикріпити до основи трикутної форми з трьома прямокутними виступами по кутах за допомогою довгих болтів М6 і гайок-«баранчиків». Коли ми будемо розкласти штатив, то, затискаючи гайки, ми зможемо фіксувати ніжки в необхідному положенні.

Вузол осей складається із власне осей — вертикальної і горизонтальної, планки з кільцями з фанери для утримання труби телескопа та імпровізованого гальма з двох фанерних кружків, який служить для фіксації труби в потрібному напрямку. Вертикальна вісь дерев'яна, виточена, підійде тонкий черешок від садового інструменту, кругла ручка. Можна, звичайно, застосувати і металеву, наприклад дюралеву трубку діаметром 20–25 мм. Горизонтальною віссю буде служити болт М6–М8, що з'єднає обидві половинки гальма. Гайка-«баранчик» служить для затягування гальма. Одна з половинок гальма жорстко кріпиться до вертикальної осі, інша з'єднана із планкою, до якої кріпиться труба. Трубу фіксуємо у фанерних кільцях дерев'яними клинами або притягуємо до планки хомутом. Труба балансується щодо горизонтальної осі шляхом переміщення в кільцях, що її утримують. Для належної жорсткості бажано збирати всі дерев'яні частини штатива на клею. Горизонтальна вісь може пересуватися в отворі основи вгору і вниз і фіксуватися в потрібному напрямку шпінтом. Це потрібно для зручного розташування окулярного вузла телескопа. Довжина ніжок штатива повинна бути близько 120 см, а довжина вертикальної осі близько 50 см. Щоб вісь зберігала вертикальне положення і не мала великого люфту, необхідно збільшити товщину основи штатива додатковими накладками з товстої фанери. У кожному зі шматочків фанери можна випилити або просвердлити отвір за діаметром осі, потім все це «нанизати» на вісь і з'єднати на клею. Загалом конструкція основи установки зрозуміла з рис. 3.

Спостереження з телескопом

Незважаючи на всю недосконалість конструкції, телескоп напевно подарує його власникові чимало захопливих хвилин. З його допомогою можна буде побачити кратери та інші деталі рельєфу на Місяці, супутники Юпітера, кільце Сатурна, Велику туманність Оріона, Туманність Андромеди, зоряні скупчення і безліч слабких зір. за допомогою сонячного екрана можна буде спостерігати плями на Сонці. Потрібно при цьому пам'ятати:

Без сонячного світлофільтра дивитися на сонце небезпечно!

Урок 13/II-3

Тема. Радіотелескопи. Радіоінтерферометри з наддовгою базою. Найбільші телескопи в Україні та у світі. Астрономічні обсерваторії. Космічні телескопи та обсерваторії. Принцип реєстрування нейтрино. Нейтринні обсерваторії

Цілі:

- *навчальна:* ознайомити учнів із засобами пізнання Всесвіту, показати застосування знань з фундаментальних законів фізики для дослідження віддалених об'єктів, ознайомити учнів з будовою радіотелескопа, принципом реєстрації нейтрино, завданнями, які покладені на астрономічні обсерваторії, та зробити огляд астрономічних обсерваторій України;
- *розвивальна:* продовжити формування вмінь аналізувати інформацію, застосовувати раніше отримані знання для здобуття нових;
- *виховна:* продовжити виховання патріотичних почуттів через ознайомлення з досягненнями вітчизняної науки і техніки в галузі створення найбільших сучасних телескопів; продовжити формування наукового світогляду школярів шляхом розкриття можливостей пізнання Всесвіту на основі астрономічних і космічних досліджень.

Нові поняття: радіотелескоп, інтерферометр, нейтринна обсерваторія.

- *Учні повинні мати уявлення:* про способи вивчення об'єктів Всесвіту.
- *Учні повинні знати:* типи телескопів, основні астрономічні обсерваторії України та світу.
- *Учні повинні вміти:* описувати будову радіотелескопа та принцип його дії, обґрунтовувати вибір місця розташування радіотелескопів, нейтринних обсерваторій.
- *Міжпредметні зв'язки:* фізика, математика, креслення.

Демонстрації:

- 1) Фото світових і українських обсерваторій.
- 2) Фотографії телескопів для вивчення випромінювання в різних діапазонах.

Технічні засоби навчання, наочне приладдя:

- 1) Мультимедійний проектор, комп'ютер, CD-презентація «Очі та руки астрономії».
- 2) Атлас «А-11» — с. 4–7.

Обладнання:

- 1) Комп'ютер.
- 2) Мультимедійний проектор, екран.
- 3) Презентація «Очі та руки астрономії».

План заняття

Час	Метод навчання	Зміст роботи	Наочне приладдя, ТЗН
0,5 хв	Бесіда	Організаційний момент Перевірка готовності учнів до уроку. Стимулювання діяльності учнів, забезпечення їхньої загальної готовності, забезпечення своєчасного й організованого початку уроку	

Час	Метод навчання	Зміст роботи	Наочне приладдя, ТЗН
1 хв	Бесіда	Актуалізація знань учнів	
25 хв	Лекція	Пояснення нового матеріалу 1) Радіотелескоп — «вухо» астрономів. 2) Астрономічні обсерваторії. 3) Нейтринні обсерваторії	Презентація «Очі та руки астрономії»
15 хв		Закріплення нового матеріалу Доповіді учнів. Розв'язування тестів	
2 хв		Підбиття підсумків уроку	
1 хв		Домашнє завдання Читати § 11 (п. 3-4), 12 (п.3)	

ХІД УРОКУ

Цей урок можна провести у формі уроку-семінару, уроку-конференції, до якого учні готуються заздалегідь. Теми для виконання проекту пропонуємо заздалегідь. Назва проекту «Фізика на службі людини». Наприкінці розробки уроку наводимо карту цього проекту.

I. ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ МОМЕНТ

II. ПОЯСНЕННЯ НОВОГО МАТЕРІАЛУ

1. Радіотелескопи

Іноді випадкове відкриття призводить до виникнення нового напрямку в науці.

Радіоастрономія почалася з того, що американський радіоінженер Карл Янський знайшов у грудні 1931 р. якісь дивні радіошуми, що заважали радіопередачі на хвилі 14,7 м. З'ясувалося, що джерелом перешкод було радіовипромінювання Чумацького Шляху.

Радіотелескоп — астрофізичний прилад для прийому електромагнітного випромінювання космічних об'єктів у діапазоні несучих частот від десятків МГц до десятків ГГц і дослідження його характеристик: координат джерел, просторової структури, інтенсивності випромінювання, спектра і поляризації.

Радіотелескоп займає початкове положення (найнизкочастотніше) серед астрономічних приладів (або комплексів), що досліджують електромагнітне випромінювання.

Сучасні радіотелескопи приймають космічні радіохвилі в шести діапазонах — від субміліметрового ($\lambda < 1$ мм) до декаметрового ($\lambda > 10$ м). Відомо, що земна атмосфера пропускає радіохвилі в діапазонах 1,4 і 8 мм в інтервалі від 1 см до 20 м. Інакше кажучи, найбільша довжина хвилі, яку пропускає атмосфера, у 20 000 разів більша за найбільшу. Тим часом в оптичному діапазоні аналогічне відношення крайніх довжин електромагнітних хвиль близьке до двох. Отже, «радіовікно» у 10 000 разів ширше оптичного «вікна».

У радіотелескопах радіохвилі збирає металеве дзеркало, іноді суцільне, іноді ґратчасте. Його поверхня параболічна. Дзеркало концентрує радіохвилі на маленькій антені. Приймальна антена в радіотелескопах називається опромінювачем.

Дзеркала радіотелескопів мають дуже великі розміри — метри і навіть десятки метрів. Найбільший радіотелескоп з рухомою антеною розміщений у Радіоастрономічному інституті ім. М. Планка (Німеччина), $D = 100$ м (дзеркало).

Ще більший нерухомий телескоп є на острові Пуерто-Рико. Його дзеркало зроблене з кратера згаслого вулкана, $D = 305$ м, і займає площу понад 7 га. У фокусі дзеркала на висоті 135 м укріплена спеціальна гондола з опромінювачем. Гондола може переміщатися над дзеркалом і приймати радіовипромінювання з досить великої ділянки неба.

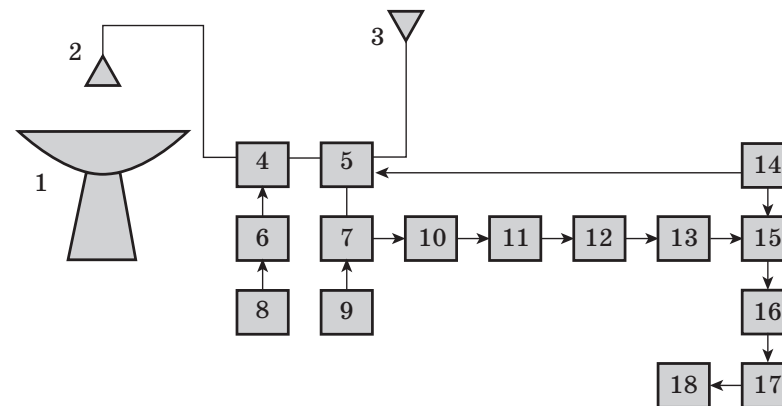


Рис. 13.1. Схема радіотелескопа:

1 — антена, 2 — рупор-опромінювач, 3 — рупор-еквівалент, 4 — спрямований відгалужувач, 5 — перемикач, 6 — генератор шуму, 7 — змішувач, 8 — сигнал ввімкнення калібрування, 9 — гетеродин, 10 — попередній підсилювач проміжної частоти, 11 — підсилювач проміжної частоти, 12 — детектор, 13 — підсилювач низької частоти, 14 — генератор опорної напруги, 15 — синхронний детектор, 16 — RC-фільтр низької частоти, 17 — підсилювач постійного струму, 18 — реєструвальний прилад

Принцип дії радіотелескопа заснований на прийомі й обробці радіохвиль від різних джерел випромінювання. Такими джерелами є: Сонце, планети, зорі, галактики, квазари й інші тіла Всесвіту, а так само міжзоряний газ. Схема радіотелескопа наведена на рис. 13.1.

Розташування	Тип антени	Розмір	Мінімальна робоча довжина хвилі
США, Шпрін Бенк	Параболічний сегмент з активною поверхнею	110 × 100 м	6 мм
Німеччина, Еффельсберг	Параболічний рефлектор	100 м	7 мм
Велика Британія, Джодрелл Бенк	Параболічний рефлектор	76 м	1,3 см
Україна, Євпаторія РТ-70 (П-2500)	Параболічний рефлектор	70 м	1 см
Росія, Калязін ТНА 1500	Параболічний рефлектор	64 м	1 см
Росія, Ведмежі озера ТНА 1500	Параболічний рефлектор	64 м	1 см
Австралія, Паркс	Параболічний рефлектор	64 м	7 мм
Японія, Нобейма	Параболічний рефлектор	45 м	1 мм
Італія, Медічина	Параболічний рефлектор	32 м	1,3 см
Росія, Світле	Параболічний рефлектор	32 м	5 мм
Україна, Євпаторія, П-400	Параболічний рефлектор	32 м	від 8 см
Україна, Сімферополь, ТНА-400	Параболічний рефлектор	32 м	від 40 см
Іспанія, Гранада, IRAM	Параболічний рефлектор	30 м	1 мм
Пуерто-Ріко, Арецібо	Сферичний рефлектор	300 м	10 см

Розташування	Тип антени	Розмір	Мінімальна робоча довжина хвилі
Росія, Зеленчуцька, РАТАН-600	Антенна змінного профілю	588 м	3 мм
Франція, Нансі	Дводзеркальний	2 × 40 м × 300 м	11 см
Росія, Пущино, ДКР-10000	Крест із двох параболічних циліндрів	2 × 1000 м × 40 м	2,5 м
Україна, Харків, УТР-2	Система діпольних антен, «Т»	1860 м × 50 м 900 м × 50 м	12 м

2. Радіоінтерферометри

На сьогодні найвідомішим РІ є введений у дію 1980 р. РТ VLA («Дуже велика ґратка»), який встановлено в пустельній місцевості штату Нью-Мексико, США. Цей РТ складається з 27 повноповоротних 25-метрових параболічних антен, розміщених у формі літери Y з довжиною двох плечей по 21 км, а третього — 19 км. У цьому і в аналогічних випадках антени пов'язані між собою електричними лініями.

Розроблено також методи наддалекої радіоінтерферометрії, коли використовують попарно великі антени, розташовані на відстанях до 12 000 км. За допомогою таких систем в радіоастрономії вдалось отримати кутове розділення дуже тісних об'єктів порядку 0,0001", що набагато краще, ніж дають оптичні телескопи (для порівняння: кутова роздільна здатність людського ока — 1'). З 1979 р. однією з антен інтерферометра є РТ, виведений супутником на орбіту Землі. Завдяки радіоінтерферометрам вдається вивчати структуру далеких радіоджерел.

3. Астрономічні обсерваторії

Обсерваторія (від лат. *observo* — спостерігаю, уважно слідкую) — наукова установа, у якій за допомогою спеціальних інструментів проводять астрономічні (астрономічна обсерваторія), магнітні (магнітна обсерваторія), сейсмологічні, метеорологічні та інші спостереження, а також обробляють одержані результати.

Історія

Оскільки необхідність астрономічних спостережень для розділення часу і для землеробських робіт була усвідомлена ще від часів

зародження людської культури, то час появи обсерваторій сягає глибокої давнини. Особистим персоналом колишніх обсерваторій були жерці і служителі релігії. Халдеї будували зіккурати чи храми-обсерваторії. У китайців як філіальні відділення математичного трибуналу з незапам'ятних часів існували обсерваторії в Пекіні, Лояне та інших містах. Єгипетські піраміди, судячи з орієнтування їх боків по сторонах світу, теж зводилися з метою проведення відомих астрономічних спостережень. Сліди існування колишніх обсерваторій знайдені в Індії, Персії, Перу і Мексиці. Крім великих державних обсерваторій, у давнину зводилися і приватні, наприклад, великою популярністю користувалася обсерваторія Евдокса в Кніду.

Головними інструментами давніх обсерваторій були: гномон для систематичних спостережень полуденних висот Сонця, сонячний годинник і клепсидри для вимірювання часу. Без допомоги інструментів спостерігали Місяць і його фази, планети, моменти сходу та заходу світил, проходження їх через меридіан, сонячні і місячні затемнення.

Першою обсерваторією в сучасному розумінні цього слова був знаменитий музей в Олександрії, влаштований Птолемеєм II Філадельфійським. Ряд таких астрономів, як Арістід, Тімохаріс, Гіппарх, Аристарх, Ератосфен, Гемінус, Птолемеї та інші, помітно сприяли розвитку цієї установи. Тут уперше почали використовувати інструменти з розділеними колами. Аристарх встановив на портику музею мідне коло в площині екватора і з його допомогою спостерігав безпосередньо часи проходження Сонця через точки рівнодення. Гіппарх винайшов астролібію з двома взаємно перпендикулярними колами і діоптрій для спостережень. Птолемеї увів квадранти і встановлював їх за допомогою виска. Перехід від повних кіл до квадрантів був, по суті, кроком назад, але авторитет Птолемея утримав квадранти на обсерваторіях до часів Ремера, який довів, що за допомогою повних кіл спостереження отримують точніші.

Обсерваторії в Європі

Після руйнування олександрійського музею з усіма його колекціями та інструментами через деякий час з'явилися обсерваторії в Багдаді, Каїрі, Маракеші (Насреддін), Самарканді (Улугбек) та ін. Арабський вчений Гебер влаштував обсерваторію в Севільї, найдавнішу в Європі. Від початку XVI століття саме в Європі почали зводитися спершу приватні, а потім і урядові обсерваторії: Регіомонтан влаштував обсерваторію в Нюрнберзі, Вільгельм IV, ландграф Гессенський, — у Касселі (1561) та ін.

Знаменитий Тихо Браге весь свій статок, більше 100 000 крон, витратив на споруди та інструменти своєї обсерваторії на острові Гвєсн, поблизу Копенгагена. Він перший в Європі почав уживати металеві інструменти з колами, розділеними через 1'. Значною славою користувалася і приватна обсерваторія Гевелія.

Перша урядова обсерваторія в Європі була побудована в 1637–1656 рр. у Копенгагені. До пожежі 1728 р. вона мала вежу заввишки 115 датських футів і 48 футів у діаметрі. Сама обсерваторія містилася на вершині вежі, куди вела гвинтова дорога. Відомо, що по цій дорозі 1716 р. Петро Великий в'їхав верхи, а Катерина I — у кареті, запряженій шістьма конями. Ще Ремер зауважив недовіжки цієї високої вежі для встановлення приладів і винайдений ним пасажний інструмент поставив у своїй приватній обсерваторії на рівні землі і далеко від проїжджої дороги.

До кінця XVIII століття в Європі діяло понад 100 обсерваторій, а до початку XX століття їх кількість сягнула 380. На початку XX століття швидко зростала кількість приватних обсерваторій, влаштованих астрономами-аматорами; дуже багато їх було у Англії і в Сполучених Штатах, де на них жертвували цілі капітали. З таких обсерваторій особливо чудові Ликська поблизу Сан-Франциско і Йеркська біля Чикаго з найбільшими у світі (на той час) рефракторами з об'єктивами в 36 і 40 дюймів у діаметрі.

Обсерваторії в Україні

Першу в Україні астрономічну обсерваторію було засновано 1821 р. адміралом А. С. Грейсом. Обсерваторія була збудована у Миколаєві та мала призначення обслуговувати Чорноморський флот. Другою в Україні була обсерваторія Київського університету, будівництво якої було закінчено 1845 року. Потім було відкрито обсерваторії в Одесі (1871) та Харкові (1888), 1900 року створено обсерваторію Львівського університету. У Сімеїзі (Крим) 1908 року було організовано астрофізичний відділ Пулковської обсерваторії, який за радянських часів входив до складу Кримської астрофізичної обсерваторії АН СРСР. У Полтаві 1926 року було створено гравіметричну обсерваторію, основним завданням якої є вивчення рухів земних полюсів і припливів у земній корі. 1945 року в Голосієві, під Києвом, було створено астрономічну обсерваторію АН УРСР.

Значні астрометричні роботи виконали в Україні І. Є. Кортацці, Б. П. Остащенко-Кудрявцев, Л. І. Семенов (Миколаїв), В. І. Фабріціус, М. П. Диченко (Київ), М. В. Циммерман, Б. В. Новопашин

шенний (Одеса), Г. В. Левицький, Л. О. Струве, М. М. Євдокимов (Харків), О. Я. Орлов, Є. П. Федоров (Полтава). М. Ф. Хандріков був визначним організатором Київської школи теоретичної астрономії. Важливі дослідження виконав у Києві А. О. Яковін. У галузі астрофізики значних успіхів досягли С. К. Всехсвятський (Київ), О. К. Кононович і В. П. Цесевич (Одеса), В. Г. Фесенков, М. П. Барабашов (Харків), Г. М. Неуймін, Г. А. Шайн, Е. Р. Мустель (Крим), Е. В. Рибка, В. Б. Степанов, М. В. Ейгенсон (Львів) і багато інших.

Головна астрономічна обсерваторія НАНУ — заснована 17 липня 1944 з ініціативи Олександра Яковича Орлова. Розташована за 12 км на південь від центра Києва в Голосіївському лісі (звідси походить її неофіційна назва — Голосіївська). Координати Обсерваторії — 2h02m східної довготи, 50°21'9" північної широти, висота над рівнем моря — 186 м.

Кримська астрофізична обсерваторія — обсерваторія Національної академії наук України. Основна частина обсерваторії розташована в Бахчисарайському районі Криму, у селищі Науковому, за 25 км від Сімферополя та 12 км від Бахчисарая, на висоті 600 м над рівнем моря. Почала свою роботу 30 червня 1945 року.

Основні напрямки наукових досліджень включають дослідження активних ядер галактик і джерел космічних променів; спостереження космічних об'єктів методом радіоінтерферометрії; будова, хімічний склад, магнетизм і нестаціонарність зір, фізика Сонця й сонячна активність; планети, малі тіла Сонячної системи й астероїди; глобальні рухи материків і полюсів Землі, а також розробка наземних і космічних оптичних телескопів.

У період від 1966 по 1992 рік в обсерваторії було відкрито 1285 малих планет. Станом на 26 серпня 2010 обсерваторія посідає 15-те місце серед обсерваторій світу за кількістю відкритих малих планет, хоча від 1992 року не було відкрито жодної нової малої планети.

В обсерваторії з 1960 року працює один з найбільших у Європі рефлекторів, другий за величиною оптичний телескоп на території країн СНД і найбільший в Україні — Дзеркальний телескоп Шайна.

Нейтринні обсерваторії

Нейтрино завдяки слабкій взаємодії з речовиною може виходити з об'єктів, непрозорих для інших видів випромінювання, і, отже, може дати важливу інформацію про процеси, що відбуваються всередині них.

Основні напрями досліджень у галузі нейтринної астрофізики, проведені на сьогодні:

1. Дослідження внутрішньої будови Сонця.
2. Дослідження нейтринних осциляцій, що використовує як джерела атмосферні нейтрино або сонячні нейтрино.
3. Пошук нейтрино з надр Землі (геонейтрино).
4. Дослідження темпу формування масивних зірок в ранні епохи по дифузному потоку нейтрино від всіх гравітаційних колапсів.

Підземні нейтрино-телескопи

Методика реєстрування заряджених частинок, народжених під час взаємодії нейтрино, найрізноманітніша — сцинтиляційні баки (Баксанський сцинтиляційний телескоп), стримірні трубки (установка MACRO), реєстрація черенковського світла у воді (установки Super-Kamiokande і SNO). Енергетичний поріг установок 5–10 МеВ. Для зменшення фону від атмосферних мюонів нейтрино-телескопи розміщують у приміщеннях, екранованих від поверхні шаром ґрунту товщиною 1–2 км. Слід зазначити, що ряд установок (IMB, NUSEX, FREJUS, SOUDAN) створювали у 80-ті роки перш за все для пошуку розпаду протона.

Найбільшим з існуючих підземних нейтринних телескопів є водний черенковський детектор Super-Kamiokande (Японія). Детектор являє собою сталевий циліндричний резервуар (заввишки 41 м і діаметром 38 м), наповнений водою. Повна маса води ~ 50 тис. тонн. Внутрішній об'єм проглядають 11 тисяч фотопомножувачів з діаметром фотокатода 50 см, рівномірно розміщених по внутрішній поверхні резервуара. Площа, покрита фотокатодами фотопомножувачів, приблизно дорівнює 40 % всієї внутрішньої площі резервуара. Зовні резервуар оточений з усіх боків шаром води завтовшки 2,5 м, його також переглядають фотопомножувачі. Велика кількість фотопомножувачів дозволяє отримувати детальний «образ» події і розділяти події від взаємодії мюонних нейтрино з утворенням мюона та події, зумовлені взаємодією електронних нейтрино з електроном у кінцевому стані. Наявність активного захисту дає можливість виділяти нейтрино події не тільки знизу, тобто від нейтрино, що пройшли Землю, але й зверху.

Баксанська нейтринна обсерваторія (БНО) — фізична обсерваторія з вивчення нейтрино, розташована в Баксанській ущелині Кавказького гірського хребта. Підземні споруди обсерваторії перебувають у двох тунелях завдовжки 3670 м під горою Андирчі. Їх еквівалентна глибина становить від 100 до 4800 м водного еквівалента.

На початку 90-х років були розпочаті роботи зі створення нейтринного телескопа AMANDA на Південному полюсі, на американській станції Амундсен-Скотт. Південний полюс покритий, як відомо, льодом товщиною близько трьох кілометрів. Реалізація проекту стала можливою завдяки унікальній методиці створення глибоких (2 км!) каналів у льоду за допомогою гарячої води. Канал замерзає приблизно через дві доби, і цього часу достатньо для монтажу гірлянди фотоприймачів. Але підняти і відремонтувати гірлянду вже неможливо. На сьогодні AMANDA складеться з 677 фотоприймачів, розміщених на 19 стрінгах, і є найбільшим телескопом нейтрино. Розпочато роботи з розширення установки до 1 км^3 . Нова установка IceCube буде складатися з 4800 оптичних модулів на 80 стрінгах. Над встановленням буде розташована установка IceTop для реєстрування широких атмосферних злив від космічних променів.

III. ЗАКРІПЛЕННЯ НОВОГО МАТЕРІАЛУ

1. Які відомості про планети можуть бути отримані методом радіолокації?
2. За допомогою яких інструментів роблять спостереження в радіодіапазоні?
3. Що можна дізнатися про Всесвіт, використовуючи радіотелескопи?
4. Поясніть, чому, спостерігаючи зорі, ми бачимо Всесвіт таким, яким він був багато років тому.

Запитання до учнів у ході викладу нового матеріалу

1. Чому радіоастрономи можуть проводити спостереження зір і вночі і вдень, а астрономи-оптики — тільки вночі?
2. Найбільший телескоп в Аресібо, встановлений у кратері згаслого вулкана, має параболічний відбивач діаметром 300 м, спрямований в zenit. Яким чином за допомогою цього телескопа можна спостерігати об'єкти, що не проходять через zenit?
3. Чому вимоги до точності виготовлення поверхні рефлекторів радіотелескопів значно нижчі порівняно з вимогами до точності виготовлення поверхні об'єктів оптичних телескопів?
4. Напівхвильовий диполь антени радіотелескопа розташований в напрямку схід—захід. Як має бути орієнтований вектор електричної напруженості електромагнітної хвилі, щоб вона могла бути зареєстрована?

Що ми дізналися на уроці

- Радіотелескоп — астрофізичний прилад для прийняття власного електромагнітного випромінювання космічних об'єктів у діапазоні несучих частот від десятків МГц до десятків ГГц і дослідження його характеристик: координат джерел, просторової структури, інтенсивності випромінювання, спектра і поляризації.
- Дзеркала радіотелескопів дуже великі за розмірами — метрові і навіть десятиметрові.
- Упродовж 50-річної історії радіоастрономії з космосу на хвилі довжиною 21 см прийнято енергії менше 10^{-7} Дж.
- Принцип дії радіотелескопа заснований на прийомі й обробці радіохвиль і хвиль інших діапазонів електромагнітного спектра від різних джерел випромінювання.
- Обсерваторія — наукова установа, у якій за допомогою спеціальних інструментів проводять астрономічні (астрономічна обсерваторія), магнітні (магнітна обсерваторія), сейсмологічні, метеорологічні та інші спостереження, а також обробляють одержані результати.
- Обсерваторії України — Миколаїв (1821), обсерваторія Київського університету (1845), Одеса (1871), Харків (1888), обсерваторія Львівського університету (1900), Сімеїз (Крим, 1908), Полтава (1926), Київ—Голосієве (1945) — астрономічна обсерваторія АН УРСР.
- Основні напрями досліджень у галузі нейтринної астрофізики — дослідження внутрішньої будови Сонця; дослідження нейтринних осциляцій, що використовують як джерела атмосферні нейтрино або сонячні нейтрино; пошук нейтрино у надрах Землі (геонейтрино); дослідження темпу формування масивних зір у ранні епохи за дифузним потоком нейтрино від усіх гравітаційних колапсів.

IV. ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ

Читати § 11 (п. 3–4), 12 (п. 3).

Урок 14/II-4

Тема. Астрофотометрія. Основні поняття фотометрії. Фотоемульсія, прилад із рядовим зв'язком (ПЗЗ). Астроспектроскопія. Основні поняття спектроскопії. Закон випромінювання Планка. Види спектрів космічних об'єктів. Спектральні прилади. Принцип визначення хімічного складу й температури космічних тіл. Ефект Доплера. Визначення променевої швидкості за спектром. Приймачі випромінювання в астрономії

Цілі:

- *навчальна:* ознайомити учнів з методами пізнання Всесвіту, показати застосування знань з фундаментальних законів фізики для дослідження віддалених об'єктів, ознайомити учнів з видами приймачів випромінювання в астрономії, розглянути спектральний аналіз як метод, за допомогою якого можна визначити: хімічний склад атмосфери зір, швидкість руху для подвійних систем, температуру, наявність та величину магнітного поля тощо;
- *розвивальна:* розширити уявлення учнів про методи пізнання безмежного Всесвіту; продовжити формування наукового світогляду на основі розкриття причинної обумовленості явищ і процесів, що відбуваються на небесних тілах і в космічному просторі;
- *виховна:* продовжити формування патріотичної свідомості шляхом опису досягнень вітчизняної науки в галузі астрофізичних досліджень; раціональної — шляхом розкриття суперечливостей у підході науки і релігії до пояснення причин і характеру небесних явищ.

Нові поняття: спектральний аналіз, лінійчастий, безупинний спектри, ефект Доплера.

- *Учні повинні мати уявлення:* про способи вивчення об'єктів Всесвіту.
- *Учні повинні знати:* основні принципи дії приймачів випромінювання.
- *Учні повинні вміти:* обґрунтовувати роль спектральних спостережень в астрономії, пояснювати принцип визначення хімічного складу й температури небесних тіл, ефекту Доплера.
- *Міжпредметні зв'язки:* фізика, математика, креслення.

Демонстрації:

- 1) Фотографічна пластинка із зображенням небесних світил.
- 2) Зображення спектрів небесних тіл.
- 3) Приймачі (чи їх зображення) випромінювання для різних діапазонів електромагнітного спектра.

Обладнання:

- 1) Комп'ютер, мультимедійний проектор, екран.
- 2) Презентація «Очі та руки астрономії».

План заняття

Час	Метод навчання	Зміст роботи	Наочне приладдя, ТЗН
0,5 хв	Бесіда	Організаційний момент Перевірка готовності учнів до уроку. Стимулювання діяльності учнів, забезпечення їхньої загальної готовності, забезпечення своєчасного й організованого початку уроку	

Час	Метод навчання	Зміст роботи	Наочне приладдя, ТЗН
1 хв	Бесіда	Актуалізація знань учнів	
25 хв	Лекція	Пояснення нового матеріалу 1) Астрофотометрія. Основні поняття. 2) Спектральний аналіз. 3) Приймачі випромінювання	Презентація «Очі та руки астрономії»
15 хв		Закріплення нового матеріалу Складання узагальнювальних таблиць, схем	
2 хв		Підбиття підсумків уроку	
1 хв		Домашнє завдання Читати § 12, письмово стор. 66 № 11.2	

ХІД УРОКУ

I. ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ МОМЕНТ

II. ПОЯСНЕННЯ НОВОГО МАТЕРІАЛУ

1. Астрофотометрія. Основні поняття

Астрофотометрія — розділ практичної астрофізики, що займається світловими вимірюваннями. Вимірювання світлового потоку дає основну інформацію про зорі, галактики, туманності та інші астрономічні об'єкти. Перша в історії астрономії фотометрична робота — поділ видимих неозброєним оком зір на 6 класів (зоряних величин) — була виконана Гіппархом у II ст. до н. е. до середини XIX ст. Око залишалося єдиним світлоприймачем, поки не була створена фотопластинка. На сьогодні основними світлоприймачами є фотоелектричні прилади: фотоелектронні помножувачі (ФЕП), електронно-оптичні перетворювачі (ЕОП), фотоопір і фотодіоди. За ефективністю вони в сотні разів перевершують фотоемульсію, хоча остання досі не втратила свого значення. Дедалі активніше почали застосовувати так звані прилади із зарядним зв'язком (ПЗЗ), що поєднують ефективність фотоелектричних приладів з перевагами фотографії (побудова зображення).

Для дослідження розподілу енергії в спектрах зір та інших астрофізичних об'єктів застосовується багатобарвна фотометрія, тобто вимірювання світлового потоку в декількох ділянках спектра.

Результат вимірювання прийнято виражати в зоряних величинах m — відносних (безрозмірних) одиницях:

$$m - m_0 = -2,5 \lg(E/E_0),$$

де m_0 і E_0 — постійні (E — освітленість, створювана зорею величини m). Наприклад, для візуальних величин (ефективна довжина хвилі $\lambda_0 = 5500 \text{ Å}$) постійні m_0 і E_0 вибрані так, що зоря величини $m = 0$ створює освітленість на верхній межі земної атмосфери $E = 2,5 \cdot 10^{-6}$ люкс. Таким чином, для однієї і тієї ж зорі освітленість пропорційна інтенсивності випромінювання $I(\lambda)$, різниця зоряних величин двох зір буде:

$$\Delta m = m_1 - m_2 = -2,5 \lg [I_1(\lambda) / I_2(\lambda)].$$

Аналогічно можна визначити різницю блиску однієї і тієї самої зорі в різних ділянках спектра:

$$C = m(\lambda_1) - m(\lambda_2) = -2,5 \lg [I(\lambda_1) / I(\lambda_2)].$$

2. Спектральний аналіз

Спектральний аналіз — сукупність методів визначення складу хімічного об'єкта, заснована на вивченні властивостей випромінювання (зокрема, світла), що йде від нього.

Виявилося, що атоми кожного хімічного елемента мають строго визначені резонансні частоти, внаслідок чого саме на цих частотах вони випромінюють або поглинають світло. Це призводить до того, що в спектроскопі на спектрі видні лінії (темні або світлі) у визначених місцях, характерних для кожної речовини. Інтенсивність ліній залежить від кількості речовини і навіть її стану. У кількісному спектральному аналізі визначають зміст досліджуваної речовини за відносною чи абсолютною інтенсивностями ліній або смуг у спектрах. Розрізняють атомний і молекулярний спектральний аналіз, емісійний — за спектрами випромінювання та абсорбційний — за спектрами поглинання.

Спектральний аналіз — тонкий метод і широко застосовується в хімії, астрофізиці, металургії, машинобудуванні, геологічній розвідці й ін. Метод було запропоновано 1859 р. Г. Кірхгофом і Р. Бунзенем. З його допомогою на Сонці було відкрито гелій раніше, ніж на Землі.

Історія

1802 р. англійський фізик Вільям Хаїд Волластон (1766–1828) побудував спектроскоп, у якому перед скляною призмою паралельно до її ребра розміщувалася вузька щілина. Навівши прилад на Сонце, він помітив, що сонячний спектр перетинають вузькі темні лінії.

Через 12 років, 1814 р., німецький фізик Йозеф Фраунгофер (1787–1826) знову знайшов у сонячному спектрі темні лінії, але, на відміну від Волластона, зумів правильно пояснити їх: йшлося про поглинання променів газами атмосфери Сонця. Використовуючи явище дифракції світла, він виміряв довжини хвиль спостережуваних ліній, що одержали з тих пір назва фраунгоферових.

18 серпня 1868 р. французький астрофізик П'єр Жансен, спостерігаючи повне сонячне затемнення, помітив яскраву жовту лінію в спектрі Сонця поблизу подвійної лінії натрію. Її приписали невідомому на Землі хімічному елементу гелію (від грецьк. «хеліос» — «сонце»). Справді, на Землі гелій був уперше знайдений у газах, що виділялися під час нагрівання мінералу клевеїту, лише 1895 року, так що він цілком виправдав свою «неземну» назву.

Успіхи спектроскопії Сонця стимулювали вчених застосовувати спектральний аналіз до вивчення зір. Провідна роль у розвитку зоряної спектроскопії по праву належить італійському астрофізику Анджело Секкі (1818–1878). У 1863–1868 рр. він вивчив спектри 4 тисяч зір і побудував першу класифікацію зоряних спектрів, розділивши їх на чотири класи. Його класифікація була прийнята всіма астрономами і застосовувалася до введення на початку XX ст. Гарвардської класифікації. Одночасно з Вільямом Хеггінсом Секкі виконав перші спектральні спостереження планет, причому він знайшов у червоній частині спектра Юпітера широку темну смугу, що належала, як з'ясувалося згодом, метану. Хеггінс вперше одержав і дослідив спектри газових туманностей, що складаються з окремих ліній випромінювання. Це й довело, що вони газові.

Хеггінс уперше вивчив спектр нової зорі, а саме — нової Північної Корони, що спалахнула 1866 р., і встановив наявність навколо зорі газової оболонки, що розширюється. Одним з перших він використав для визначення швидкостей зір за променем зору принцип Доплера—Фізо (його часто називають ефектом Доплера).

Послідовне застосування принципу Доплера—Фізо в астрономії призвело до низки дивовижних відкриттів. 1889 р. директор Гарвардської обсерваторії (США) Едуард Чарлз Пікеринг (1846–1919) знайшов роздвоєння ліній у спектрі Міцара — усім відомої зорі 2-ї зоряної величини у хвості Великої Ведмедиці. Лінії з певним періодом то зсувалися, то розсувалися. Пікеринг зрозумів, що це швидше за все тісна подвійна система: її зорі настільки близькі одна до одної, що їх не можна розрізнити в жодний телескоп. Однак спектральний аналіз дозволяє це зробити. Оскільки швидкості

обох зір пари спрямовані в різні сторони, їх можна визначити, використовуючи принцип Доплера—Фізо (а також, звичайно, і період обертання зір у системі).

1900 р. пулковський астроном Арістарх Аполлонович Білопольський (1854–1934) використовував цей принцип для визначення швидкостей і періодів обертання планет. Якщо поставити щілину спектрографа уздовж екватора планети, спектральні лінії будуть нахилені (один край планети до нас наближається, а інший — віддаляється). Застосувавши цей метод до кілець Сатурна, Білопольський довів, що ділянки кільця обертаються навколо планети за законами Кеплера, а отже, складаються з безлічі окремих, не зв'язаних між собою дрібних частинок, як це припускали Джеймс Клерк Максвелл (1831–1879) і Софія Василівна Ковалевська (1850–1891).

Приблизно за рік до цих досліджень Білопольський знайшов періодичну зміну променевих швидкостей у цефеїд. Тоді ж Микола Олексійович Умов (1846–1915) висловив думку, що в цьому випадку вчені мають справу не з подвійною системою, як тоді вважали, а з пульсацією зорі.

Тим часом астроспектроскопія робила дедалі нові успіхи. 1890 р. Гарвардська астрономічна обсерваторія випустила великий каталог зоряних спектрів, що містив 10 350 зір до 8-ї зоряної величини і до 25° південного схилення. Він був присвячений пам'яті Генрі Дрепера (1837–1882), американського шанувальника астрономії (за фахом лікаря), піонера широкого застосування фотографії в астрономії. 1872 р. він одержав першу фотографію спектра зорі (спектрограму), а надалі — спектри яскравих зір, Місяця, планет, комет і туманностей. Після виходу першого тому каталогу до нього не раз видавали доповнення. Загальне число вивчених спектрів зір досягло 350 тисяч.

Відкриття основ спектрального аналізу в середині XIX століття справило революцію в астрофізиці. Спектральний аналіз дозволив встановити основні фізичні характеристики космічних тіл: температуру, швидкість руху за променем зору, наявність магнітного поля, хімічний склад і т. д., дозволив судити про процеси, що протікають в атмосферах і на поверхні космічних тіл.

Визначення характеристик небесних тіл

За спектром космічних тіл можна визначити їхню температуру. За законом Вина: довжина хвилі, на яку припадає максимум спек-

тральній густини енергетичної світності, обернено пропорційна температурі тіла: $\lambda = b/T$, де $b = 2,898 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$ — стала Вина (рис. 14.1).

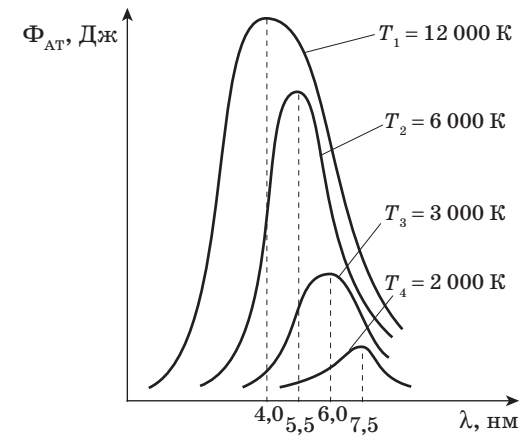


Рис. 14.1

За спектром космічних тіл можна визначити їхній хімічний склад. Порівнюючи положення ліній (смуг) поглинання або випромінювання в спектрі космічного тіла й еталонних спектрах різних хімічних елементів і сполук, вчені визначають якісний хімічний склад, а за яскравістю (інтенсивністю) ліній і смуг судять про кількісний (відсотковий) уміст кожного елемента або сполуки.

За спектром космічних тіл можна судити про ступінь іонізації і стан його речовини, концентрацію речовини, тиск і масу газу в туманності та зорях.

За спектром космічних тіл можна судити про наявність і потужність їхніх магнітних полів, які впливають на електромагнітні хвилі. У результаті кожна лінія в спектрі «розщеплюється» на дві або більше лінії-близнюки (ефект Зеемана—Штарка) (див. рис. 14.2).

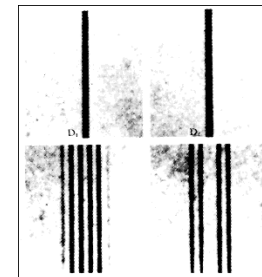


Рис. 14.2. Розщеплення ліній у спектрі

За спектром космічних об'єктів, які спостерігають як єдине ціле навіть у найпотужніші телескопи, можна встановити, які з них насправді є системами космічних тіл і з якими характеристиками вони як тіло входять в ці системи (їхні спектри просто «накладаються» один на інший).

За спектром космічних тіл можна визначити характеристики їхнього руху: наявність і швидкість обертання, напрям і швидкість переміщення в просторі відносно спостерігача, а в ряді випадків і відстань до них.

За принципом Доплера для оптики, під час зближення спостерігача із джерелом випромінювання довжини хвиль випромінювання коротшають (лінії в спектрі рівномірно зсуваються у фіолетову частину спектра), у разі віддалення об'єкта спектральні лінії зсуваються в червону частину спектра.

Обертання космічних тіл встановлюють за регулярним зміщенням ліній в обидва кінці від середнього положення. За променевими швидкостями окремих областей усередині галактик з їхніх спектрів дізнаються про внутрішні рухи і розподіл мас речовини; за інтенсивністю емісійних ліній — про кількість гарячого газу, особливості його розподілу і швидкості руху усередині галактики. Для далеких галактик величина «червоного зсуву» спектральних ліній пропорційна їх віддаленості:

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

де λ_0 — довжина хвилі спектральної лінії, якщо джерело нерухоме, v_{λ} — швидкість за променем зору.

Спектральні прилади

Спектральні прилади дозволяють:

- розкласти досліджуване випромінювання у спектр і зафіксувати положення окремих його ділянок або окремих спектральних ліній;
- виміряти інтенсивність тієї чи іншої ділянки спектра, тієї чи іншої спектральної лінії.

Спектроскоп — прилад для спостереження оптичних спектрів.

Спектрофотометр — прилад для вимірювання оптичних спектрів за допомогою фотоелектричних приймачів випромінювання.

Монохроматор — прилад для виділення вузьких інтервалів довжин хвиль (частот) оптичного (тобто видимого, інфрачервоного, ультрафіолетового) випромінювання.

Усі перелічені прилади обов'язково мають пристрій, який дозволяє розкласти випромінювання у спектр — дифракційну решітку або призму.

3. Приймачі випромінювання

З 1880 р. в астрономії систематично використовують фотографію. У наш час понад 50 % усіх астрономічних спостережень здійснюють саме шляхом фотографування небесних об'єктів. Фотографічна емульсія, на відміну від ока, здатна накопичувати кванти світла, водночас на ній утворюються зображення сотень і тисяч світил. Такі зображення певної ділянки неба чи об'єкта можуть зберігатися тривалий час. на сьогодні небо фотографують на кольорову емульсію, що дає змогу, зокрема, виявляти особливості структури газових туманностей тощо.

Але за межами земної атмосфери такий самий телескоп здатний вловлювати сигнали від об'єктів, у 40 разів слабкіших.

Починаючи із 40-х років XX ст. успішно використовують фотоелектронні помножувачі, у яких потік фотонів, що надходить від небесного світила, перетворюється в електричний струм. Фотоелектронний помножувач (ФЕП) — це скляний прозорий балон, у якому створено вакуум і в який вмонтовані фотокатод, емітери, або диноди (загалом до двох десятків), і анод. Усі вони мають виводи, на які подаються дедалі більше зростаючі електричні потенціали. Електрон, вирваний внаслідок фотоэффекту з фотокатода, прискорюється в електричному полі, вдаряється об поверхню першого емітера і вибиває з нього декілька електронів, які, у свою чергу, рухаються в напрямку другого емітера, вдаряються об нього і вибивають ще більше електронів і т. ін.

Зрештою, кількість електронів, що потрапляють на анод, буде у $10^6 - 10^9$ разів більшою від початкової кількості електронів, вирваних з катода.

Від початку 70-х років в астрономії застосовують приймачі, дія яких ґрунтується на притаманному всім напівпровідникам явищі внутрішнього фотоэффекту. Для зниження шумів прилад охолоджують до температури рідкого азоту (77 К). Одним із варіантів таких фотоприймачів є прилади із зарядовим зв'язком (ПЗЗ, англ. мовна аббревіатура ССВ). Тут електрони, що вивільнилися після поглинання речовиною фотонів, зберігаються в окремих елементах кремнієвої кристалічної пластинки — у пікселях, а зчитувальний пристрій підраховує і реєструє величину накопиченого реального заряду.

Завдяки застосуванню ПЗЗ гранична зоряна величина, яку, зокрема, можна зареєструвати на 5-метровому рефлекторі, збільшилася з 25^{'''} до 28^{'''}, тобто стало можливим реєструвати потоки, у 16 разів слабкіші, ніж раніше. Щоб досягти такого прогресу зі старими (фотографічними) приймачами, довелося б побудувати оптичний телескоп з діаметром дзеркала 31 м.

Допоміжні прилади. Саме по собі зображення об'єкта, отримане у фокусі телескопа, особливо якщо це далека зоря, не несе важливої інформації, яка б розкривала його природу. Для того щоб отримати ці дані, астрономи використовують найрізноманітніші допоміжні прилади. Найвідомішими з-поміж них є спектрографи. Вивчаючи спектри космічних тіл, можна дізнатися про хімічний склад, температуру, наявність і величини електричних та магнітних полів цих об'єктів, швидкість їхнього руху в просторі тощо.

Дуже часто спостереження проводять із застосуванням світлофільтрів, за допомогою яких виділяють випромінювання об'єктів в окремих діапазонах спектра.

Сконструйовано електронно-оптичні перетворювачі (ЕОП), завдяки яким інфрачервоне зображення трансформується у видиме. Найпростіший ЕОП нагадує однокаскадний фотопомножувач, у якому анод виготовлено у вигляді циліндричної трубки, що виконує функції фокусувальної системи. Фотоелектрони вільно проходять крізь неї і, потрапляючи на екран, покритий люмінофором (сульфідом цинку чи кадмію), різко гальмуються. При цьому екран починає світитися (флуоресціювати). У такий спосіб електронне зображення перетворюється у світлове, яке потім фотографують.

Від 1950-х років в астрономії використовують телевізійний метод спостережень слабких об'єктів, що дає помітний вииграш у часі. Цей метод дозволяє значно посилювати слабкі за яскравістю об'єкти, передавати їхні зображення від телескопа в лабораторне приміщення, збільшувати масштаб зображення, його контрастність і яскравість, розглядати це зображення або фотографувати його.

Завдяки телевізійному методу з'явилася спектр-інтерферометрія — метод отримання моментального зображення об'єкта (за декілька сотих часток секунди), діаметр якого близький до дифракційного. У такий спосіб усувають ефект розсіювання світлових променів на неоднорідностях земної атмосфери, а тому можна не лише виявляти подвійність окремих астрономічних об'єктів, а й оцінювати головні параметри таких систем.

III. ЗАКРІПЛЕННЯ НОВОГО МАТЕРІАЛУ

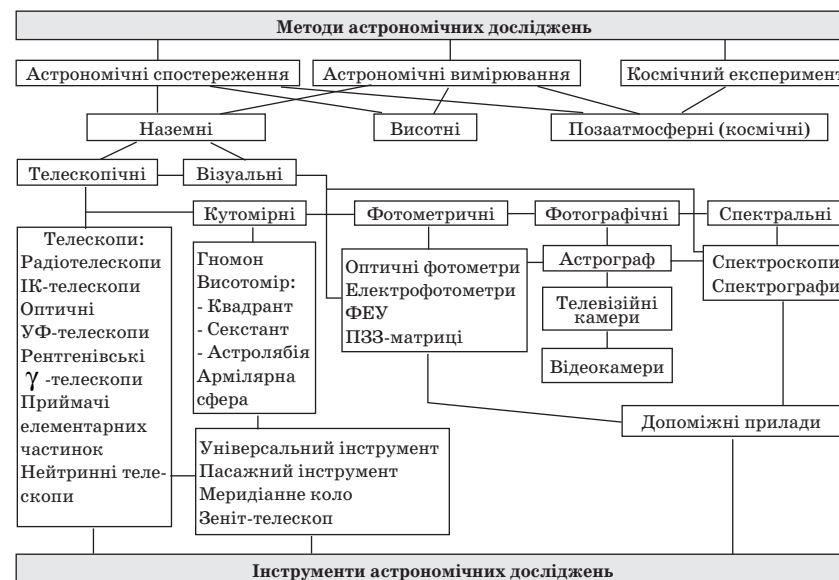
Вивчені відомості закріплюють та узагальнюють під час виконання завдань на складання класифікаційних схем і таблиць.

1. Складіть таблицю, яка відображатиме застосування спектрального аналізу для визначення фізичні характеристики основних типів космічних тіл (планетних тіл, зір, туманностей) і космічних систем (планетних систем, зоряних систем, галактик).
2. Скласти класифікаційну схему методів астрономічних досліджень (таблиця і схема розташовані нижче).
3. За допомогою спектрів визначте довжину хвилі спектральної лінії та хімічний елемент, який її утворює (інструкція для виконання завдання розташована нижче).

Космічні об'єкти	Фізичні характеристики	Тип та особливості спектра	Фізичні закони і способи визначення характеристик об'єктів
Планетні тіла: планети; супутники планет; астероїди; комети (емісійний спектр)	Температура	Лінії і смуги поглинання на тлі спектра відображення зорі (Сонця)	За інтенсивністю і шириною спектральних ліній і смуг різних сполук з урахуванням температури
	Тиск та густина атмосфери		
	Рух у просторі: напрямок і відносна швидкість		За ефектом Доплера
	Осьове обертання: напрямок і період		
Зорі	Температура		За інтенсивністю і шириною спектральних ліній
	Тиск (густина)		За інтенсивністю і шириною спектральних ліній і смуг різних сполук з урахуванням температури
	Хімічний склад		
	Світність		За шириною ліній (зазвичай водневих) і порівняльною інтенсивністю деяких ліній. за емпірично встановленими залежностями

Космічні об'єкти	Фізичні характеристики	Тип та особливості спектра	Фізичні закони і способи визначення характеристик об'єктів
Зорі (продовження)	Обертання зорі і турбулентні рухи речовини в її верхніх шарах		За ефектом Доплера ці рухи розширюють лінії, одночасно роблячи їх профіль більш «дрібним»
	Рух зорі в просторі: напрямок і відносна швидкість		За ефектом Доплера
	Наявність та характеристики (індукція) магнітного поля		За ефектом Зеемана—Штарка, що призводить до розщеплення спектральних ліній
Туманності	Температура	Емісійні спектри	За відносної інтенсивності ліній окремих елементів
	Густина		
	Хімічний склад		За яскравістю туманності в безперервному спектрі
	Електронна концентрація і маса газу		
	Внутрішній рух речовини і рух туманності як єдиного цілого (напрямок, швидкість)		
Планетні системи	Існування планетної системи у зорі		За періодичних коливань всіх ліній і смуг у спектрі зорі
	Маси і періоди обертання планет		За характеристиками даних періодичних зміщень
Подвійні зоряні системи	Існування подвійних та кратних систем зір		У цьому випадку відбувається періодичне зрушення чи розщеплення ліній спектра
	Період обертання компонент		

Космічні об'єкти	Фізичні характеристики	Тип та особливості спектра	Фізичні закони і способи визначення характеристик об'єктів
Галактики	Інтегральний зоряний склад		За лініями у спектрі поглинання та їх інтенсивністю, а також з безперервного спектра галактики
	Відстань до галактик		За ефектом Доплера: лише для далеких галактик за величиною «червоного зсуву»
	Внутрішній рух речовини в галактиці і розподіл мас		За променевими швидкостями окремих областей усередині галактики за ефектом Доплера і характеристиками переміщення галактики як єдиного цілого
	Кількість «гарячого» газу в галактиці та особливості його розподілу (склад)		За інтенсивністю емісійних ліній у спектрі різних ділянок галактики



Запитання до учнів у ході викладу нового матеріалу

1. За допомогою яких приладів можна отримати спектр електромагнітного випромінювання небесного тіла?
2. Як за спектром можна визначити, наближається чи віддаляється від нас джерело випромінювання (зоря)?
3. Які можливості надають позаатмосферні спостереження і спектральний аналіз для вивчення природи небесних тіл?

Що ми дізналися на уроці

- Спектральний аналіз — сукупність методів визначення складу (наприклад, хімічного) об'єкта, заснована на вивченні властивостей випромінювання (зокрема, світла), що йде від нього
- Спектральні прилади дозволяють:
 - а) розкласти досліджуване випромінювання у спектр і зафіксувати положення окремих його ділянок або окремих спектральних ліній;
 - б) виміряти інтенсивність тієї чи іншої ділянки спектра, тієї чи іншої спектральної лінії.

За спектром космічних тіл можна визначити:

- їх температуру, довжину хвилі, на яку припадає максимум спектральної густини енергетичної світності, обернено пропорційну температурі тіла: $\lambda = b/T$, де $b = 2,898 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$ — стала Вина;
 - за шириною спектральних ліній можна судити про світність космічних тіл;
 - хімічний склад;
 - ступінь іонізації і стан його речовини, концентрацію речовини, тиск і масу газу в туманності та зорях;
 - наявність і потужність їхніх магнітних полів, які впливають на електромагнітні хвилі;
 - наявність і швидкість обертання, напрям і швидкість переміщення в просторі відносно спостерігача, а в ряді випадків і відстань до них.
- $$\lambda = \lambda_0 \left(1 + \frac{v_x}{c} \right).$$

IV. ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ

1. Читати § 12.
2. Завдання письмово на с. 66 № 11.2.

САМОСТІЙНА РОБОТА (РОБОТА В ГРУПАХ)

У картці вказано алгоритм виконання цього завдання. Роботу виконують протягом 2–3 хвилин.

Використовуючи спектр зорі, визначте хімічні елементи, що утворюють лінії обчислених довжин хвиль.

Якісний хімічний склад будь-якої зорі можна визначити за допомогою дифракційного спектра. Для цього:

1. Необхідно знайти дисперсію даної спектрограми:

$$\eta = \frac{\lambda - \lambda_0}{s} \left(\frac{\text{Å}}{\text{м}} \right), \text{ де}$$

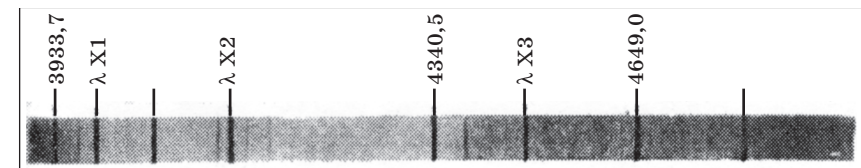
s — вимірювана відстань між лініями;

λ — довжина хвилі ототожнених ліній спектрограми.

2. Обчислити довжину довільної хвилі на цій спектрограмі за формулою: $\lambda_x = \lambda_0 \pm \eta s_x$, де s_x — вимірювана відстань між ототожненою і досліджуваною лініями λ , λ_x спектрограми, знак «+» відповідає лінії, розташованій від λ_0 в бік червоної, а знак «-» — у бік фіолетової частини спектра.
3. За допомогою таблиці спектральних ліній визначте хімічний елемент, який дає цю лінію хвилі.

Завдання 1

Використайте рисунок та визначте хімічні елементи зорі ξ Персея, які утворюють лінії спектра λ_{x_1} , λ_{x_2} , λ_{x_3} .



Таблиця спектральних ліній оптичного інтервалу довжини хвилі

Довжина лінії, нм	Хімічний елемент	Довжина лінії, нм	Хімічний елемент	Довжина лінії, нм	Хімічний елемент
704,68	Nb	526,96	Fe	421,55	Sr
697,33	Cs	518,36	Mg	420,94	Cr
687,02	O	517,27	Mg	415,80	C
676,78	Ni	517,16	Ca	414,38	He
666,14	Ni	516,90	Fe	413,21	Fe

Довжина лінії, нм	Хімічний елемент	Довжина лінії, нм	Хімічний елемент	Довжина лінії, нм	Хімічний елемент
660,91	Fe	516,75	Fe	412,15	Bi
658,28	H	516,73	Mg	412,08	Be
646,26	Ca	503,53	Ni	410,17	B
634,17	Ba	496,23	Sr	408,36	Mo
630,38	Ti	495,70	Fe	407,77	Sr
627,81	O	489,15	Fe	407,27	Fe
624,36	Al	486,12	H	406,35	Mn
616,22	Ca	484,21	Al	405,75	Mg
603,07	Mo	483,31	Sr	404,88	Ca
598,36	Bh	471,44	Ni	404,58	Fe
589,59	Ne	470,30	Mg	397,01	B
589,00	Al	468,58	He	396,85	Cs
587,56	He	466,80	Fe	396,47	He
571,11	Mg	466,68	Al	396,15	Al
563,17	Sn	460,73	Sr	394,46	Al
559,32	Al	447,17	He	393,37	Ca
553,71	Al	445,59	Ca	392,29	Fe
547,69	Ni	438,36	Fe	393,43	Ti
538,34	Fe	435,19	Mg	391,33	Ni
532,42	Fe	434,05	H	390,29	Cr
535,34	V	432,58	Fe	389,79	Fe
534,51	Mn	430,79	Fe	389,91	H
534,10	Ta	430,77	Ca	388,87	He
532,45	Mo	430,54	Sr	388,63	Fe
530,23	Mo	427,91	Cu	388,44	Fe
530,10	Co	423,59	Fe	387,58	Ca
528,17	Ni	422,67	Cs	386,55	Os
527,32	Fe	422,11	Fe		

Урок 15/III-1

Тема. Історія вивчення, склад і будова Сонячної системи. Можливість існування невідомих планет у Сонячній системі

Цілі:

- *навчальна:* ознайомити учнів з історією вивчення Сонячної системи за допомогою космічних апаратів, різноманітних фізичних методів; із сучасним поглядом на будову Сонячної системи, ввести класифікацію тіл, які входять до Сонячної системи, показати застосування знань з фундаментальних законів фізики для дослідження віддалених об'єктів Сонячної системи;
- *розвивальна:* розширити уявлення учнів про методи пізнання безмежного Всесвіту; продовжити формування наукового світогляду на основі розкриття причинової обумовленості явищ і процесів, що відбуваються на небесних тілах і в космічному просторі;
- *виховна:* продовжити формування патріотичної свідомості шляхом показу досягнень вітчизняної науки в галузі космічних досліджень.

Нові поняття: планети земної групи, планети-гіганти, карликові планети, астероїди, пояс Койпера, хмара Оорта.

- *Учні повинні мати уявлення:* про склад Сонячної системи та порядок розміщення планет.
- *Учні повинні знати:* будову Сонячної системи, принцип поділу планет на дві групи, правило Боде.
- *Учні повинні вміти:* обґрунтовувати значення вивчення Сонячної системи для природничих наук, наводити приклади досліджень тіл Сонячної системи за допомогою космічних апаратів.
- *Міжпредметні зв'язки:* фізика, математика, креслення.

Демонстрації:

- 1) Динамічна модель Сонячної системи.
- 2) Зображення об'єктів Сонячної системи.
- 3) Зображення об'єктів Сонячної системи, отриманих міжпланетними космічними апаратами.

Обладнання: комп'ютер; мультимедійний проектор, екран; презентація «Сонячна система — наш рідний дім».

План заняття

Час	Метод навчання	Зміст роботи	Наочне приладдя, ТЗН
0,5 хв	Бесіда	Організаційний момент Перевірка готовності учнів до уроку. Стимулювання діяльності учнів, забезпечення їхньої загальної готовності, забезпечення своєчасного й організованого початку уроку	
1 хв	Бесіда	Актуалізація знань учнів	
30 хв	Лекція	Пояснення нового матеріалу 1) Розвиток уявлень людства про Сонце і планети. 2) Сучасний період досліджень Сонячної системи. 3) Будова Сонячної системи. 4) Чи можливі нові відкриття в Сонячній системі	Презентація «Сонячна система — наш рідний дім»

Час	Метод навчання	Зміст роботи	Наочне приладдя, ТЗН
10 хв	Робота в групах	Закріплення нового матеріалу Робота з навчальними тестами	
2 хв		Підбиття підсумків уроку	
1 хв		Домашнє завдання Читати § 17 (пп.1, 2) підготувати повідомлення «Планети земної групи»	

ХІД УРОКУ

I. ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ МОМЕНТ

II. АКТУАЛІЗАЦІЯ ОПОРНИХ ЗНАТЬ УЧНІВ

1. Що являє собою Сонячна система? Яка її структура? Які об'єкти входять до її складу? Які сили (причини) поєднують об'єкти Сонячної системи в єдине ціле? Чи існують, по-вашому, планетні системи в інших зір?
2. Що таке планета? Які планети Сонячної системи ви знаєте? Що ви знаєте про кожну з цих планет?
3. Які супутники планет ви знаєте? Які їхні основні характеристики? Чим вони відрізняються від характеристик планет?
4. Що являють собою астероїди, комети, метеорні тіла (метеорити)? Що ви про них знаєте? Чим вони відрізняються від планет, від супутників планет і між собою?
5. Дайте визначення понять «Сонячна система», «планета», «супутник планети», «астероїд», «комета», «метеорне тіло».

Учитель уважно слухає відповіді учнів, записує (фіксує) найбільш типові з них (це дозволяє установити загальний рівень знань і характерні помилки учнів) і доповнює, виправляє й узагальнює сказане учнями.

III. ПОЯСНЕННЯ НОВОГО МАТЕРІАЛУ

1. Розвиток уявлень людства про Сонце та планети

З давніх часів люди спостерігали за небом і намагалися скласати собі уявлення про те, що вони на ньому бачили. Найпомітніші об'єкти на небі — це, звичайно ж, Сонце і Місяць. Зорі і планети видаються всього лише маленькими точками. Проте, спостерігаючи за зміною їх положення, стародавні спостерігачі звернули увагу на те, що в той час, як більша частина зір не змінюють свого по-

ложення на небі одна відносно другої, беручи участь лише у круговому русі, яке зумовлено обертанням Землі навколо своєї осі, деякі світні тіла переміщуються по небу дуже складним чином. Так, ще в давнину люди почали розрізняти планети і зорі.

Астрономічні спостереження мали дуже велике значення в давнину. Саме на основі спостережень за небом, вивчення закономірностей руху Сонця і Місяця люди змогли створити перші календарі, навчитися відлічувати час і передбачати різні природні явища. До наших часів дійшли споруди, які побудували стародавні для того, щоб з їх допомогою визначати точне положення світил.

Важливим етапом в історії розвитку уявлень про Сонячну систему стали досягнення давньогрецької астрономії. Стародавні греки не тільки встановили факт кулястості Землі, обчисливши її приблизні розміри, але і зайнялися створенням теорії планетного руху. Серед давньогрецьких астрономів були не лише ті, що виступали за геоцентричну модель світу, але й ті, що правильно вважали, що в центрі Сонячної системи знаходиться Сонце, а Земля та інші планети обертаються навколо Сонця. Найбільш значною працею, де було підсумовано всі досягнення давньогрецької астрономії, став «Альмагест». Автором його був давньогрецький астроном Птолемей, який розробив власну досить складну модель світу, яка, незважаючи на те, що була геоцентричною, дозволяла розраховувати положення планет з великою точністю.

Теорія Птолемея була панівною в уявленнях людства на багато століть, аж до епохи Відродження, при цьому геоцентричну систему світу підтримувала і захищала католицька церква, яка боролася з усіма, хто сумнівався в її правильності. У XV ст. Європі починається пробудження науки, яке торкнулося в тому числі і астрономії. Коперник висуває теорію, згідно з якою Земля й інші планети обертаються навколо Сонця. Ця теорія натрапила на жорстку протидію католицької церкви, яка звинувачувала її прихильників у ересі, а одного з її чільних послідовників — Джордано Бруно — інквізиція спалила на вогнищі. Однак вороги науки так і не змогли зупинити прогрес. На початку XVII ст. Кеплер, що спирався на спостереження Тихо Браге, встановив закони руху планет. Він відкрив, зокрема, що планети обертаються навколо Сонця не по колових, а по еліптичних орбітах. Висока точність, з якою теорія Кеплера могла передбачати рух планет, не залишала сумнівів у справедливості геліоцентричної моделі. Закони Кеплера, у свою чергу, стали одним із джерел, які призвели Ньютона до створення

механіки — першої наукової теорії Нового часу, яка описувала закономірності руху тіл. Зі створенням теорії Ньютона закони руху планет отримали чітке наукове обґрунтування.

З давніх часів людству було відомо 5 планет, які можна побачити неозброєним оком. Це — Меркурій, Венера, Марс, Юпітер і Сатурн. Про інші планети Сонячної системи і супутники планет не було відомо нічого, поки Галілео Галілей не винайшов телескоп. Поява телескопа відразу призвела до збільшення кількості астрономічних відкриттів. Сам Галілей за допомогою свого телескопа відкрив гори на Місяці, плями на Сонці і чотири найбільших супутники Юпітера — Іо, Ганімед, Європу і Калісто. Це сталося 1610 року. Протягом XVII ст. були відкриті ще декілька великих супутників, наприклад супутник Сатурна Титан. Перша нова планета — Уран — була випадково відкрита 1781 р. Вільямом Гершелем. 1846 р. було відкрито Нептун, причому вже не випадково, а на підставі розрахунків вчених, які передбачили існування ще однієї планети Сонячної системи з огляду на той вплив, який вона своєю гравітацією чинила на рух Урана. Протягом XVII, XIX і на початку XX ст. за допомогою дедалі більш потужних наземних телескопів продовжували відкривати супутники планет. У XIX ст. були відкриті, наприклад, два супутники Марса — Фобос і Деймос, а крім цього, було покладено початок відкриттю безлічі малих планет — астероїдів, які, хоча і не були супутниками інших планет і постійно оберталися навколо Сонця, але були занадто малі, щоб вважати їх справжніми планетами.

Новий старт астрономічним відкриттям дала космічна ера.

2. Сучасний період досліджень Сонячної системи

1957 р. СРСР запустив перший супутник. І майже відразу космічні апаратуришили для дослідження інших планет Сонячної системи. Тривалі роки люди могли спостерігати за небесними тілами лише з поверхні Землі, але навіть найкращі наземні телескопи не дозволяли зробити будь-яких висновків про те, які умови на інших планетах, як відбуваються на них природні процеси, чи є на них життя тощо. Дізнатися про це стало можливим лише після досліджень космосу за допомогою космічних апаратів.

Перші апарати були спрямовані до Місяця. 1959 р. «Місяць-2» вперше досяг поверхні Місяця, а «Місяць-3» сфотографував зворотний бік Місяця, який до тих пір ніхто не бачив. Потім були спрямовані апарати до Венери і Марса. Американські «Марінери»

отримали фотографії цих планет з близької відстані, радянська станція «Венера-7» вперше отримала достовірні дані про клімат Венери, а «Венера-9» 1975 р. стала першим космічним апаратом, який зміг здійснити посадку на поверхню іншої планети і передати на Землю зображення її поверхні.

Хоча після запуску першого супутника дехто сподівався на початок швидкого освоєння інших планет, досі єдиною спробою людей дістатися поверхні іншого небесного тіла є програма «Аполлон», здійснена на рубежі 70-х, у ході якої американці кілька разів злітали до Місяця і висадилися на її поверхню. СРСР використовував автоматичні станції для дослідження поверхні Місяця — вони доставили з Місяця на Землю проби ґрунту, а «Місяцехід» став першим апаратом, здатним пересуватися по поверхні (за час своєї місії він зміг дослідити досить велику ділянку місячної поверхні). Наприкінці 90-х маленькі апарати, подібні до «місяцеходів», були відправлені американцями на Марс і використовувалися для дослідження його поверхні. Розширенню знань про дальні планети Сонячної системи сприяли місії космічних апаратів «Піонер-10», «Піонер-11» і особливо «Вояджер». Вдало пролетівши поблизу всіх великих планет — Юпітера, Сатурна, Урана і Нептуна, вони змогли передати на Землю фотографії крупним планом цих планет і деяких їхніх супутників, а також відкрили безліч нових невеликих супутників цих планет.

3. Будова Сонячної системи

Сонячна система — це система космічних об'єктів, що складається із зорі класу G2 Сонця й обертових навколо неї під дією сил тяжіння планетних тіл: 8(9) великих планет — Меркурія, Венери, Землі, Марса, Юпітера, Сатурна, Урана, Нептуна, Плутона (2009 р. Плутон було виключено з великих планет Сонячної системи.); 62 відомих супутників планет (планетоїдів і астероїдів); 10^5 – 10^6 малих планет-астероїдів; 10^{13} – 10^{14} комет і незліченної кількості метеорних тіл, космічного пилу і газу. Простір Сонячної системи розмірами понад $3 \cdot 10^{16}$ м є носієм гравітаційних і магнітних полів і пронизаний електромагнітним випромінюванням і потоками елементарних частинок. Вік Сонячної системи 4,5–5 мільярдів років.

Сонце зосереджує в собі 99,866 % маси Сонячної системи, на частку великих планет припадає 0,134 % маси, супутників планет — 0,00004 %, астероїдів — 0,0000001 %, комет — 0,0003 %

і метеорних частинок $0,000000000001\%$. Геометричний центр Сонячної системи практично збігається з центром Сонця.

Великі планети Сонячної системи обертаються навколо Сонця в напрямі його осевого обертання по майже колових орбітах, що слабко нахилені одна до одної і лежать поблизу площини сонячного екватора. Більшість планет обертається навколо своєї осі в тому самому напрямку. Супутники планет здебільшого обертаються навколо планет у тому самому напрямку, у якому відбувається осеве обертання планет, але деякі найвіддаленіші супутники планет мають зворотний рух. Більшість орбіт астероїдів лежить між орбітами Марса і Юпітера. Відкрито сотні силікатно-крижаних і крижаних планетоїдів, кентаврів і кометних ядер пояса Койпера, орбіти яких лежать за орбітою Плутона на відстані близько 50–70 а. о. від Сонця. Загальне число метеороїдів розмірами понад 1 км на відстані до 100 а. о. від Сонця досягає 1 мільйона. У гігантській хмарі кометних ядер, що оточує Сонячну систему, виділяють 2 шари: сферична хмара Хілса з $10^{13} - 10^{14}$ крижаних метеороїдів на відстані до 20 000 а. о. і квазісферична хмара Оорта з $10^{11} - 10^{12}$ об'єктів на відстані до 10^5 а. о. від Сонця. Під дією збурювань, які виникають від зір, що проходять поблизу, кометні ядра в хмарі змінюють свої орбіти і частина їх спрямовується усередину Сонячної системи; орбіти відомих комет мають великий ексцентриситет і нахил до екліптики.

За межі Сонячної системи приймають відстань від Сонця до геліопаузи — точки, у якій тиск сонячного вітру зрівноважується тиском міжзоряного середовища.

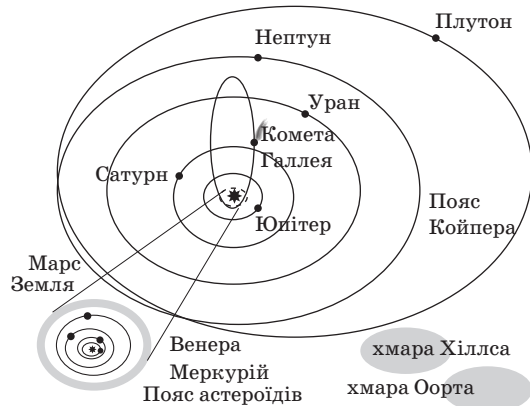
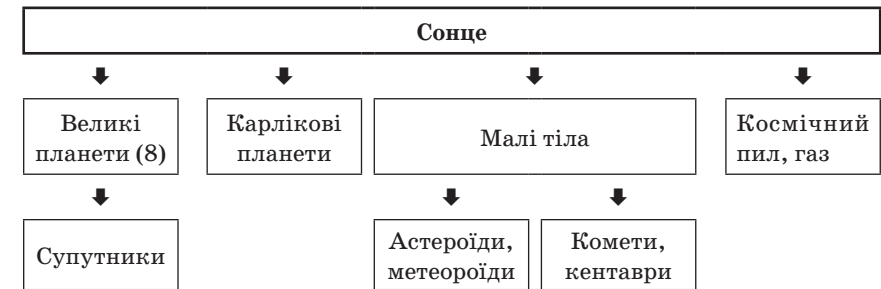


Рис. 15.1 Будова Сонячної системи

Середні відстані планет від Сонця підкоряються емпіричному закону, сформульованому наприкінці XVIII століття астрономом І. Тиціусом і І. Бодє: $r = 0,3 \cdot 2^n + 0,4$ (а. о.), де r — відстань від планети до Сонця. Для Меркурія $n = -1$; для Венери $n = 0$; для Землі $n = 1$; для Марса $n = 2$; для Юпітера $n = 4$ і т. ін.



4. Можливість існування невідомих планет у Сонячній системі

Останнім часом у різних джерелах інформації, у тому числі на сторінках Інтернету, публікується інформація про можливий кінець світу і планету Нібіру, яка несе загибель Землі. Давайте розглянемо це питання з точки зору сучасної астрономії.

Історія питання

До пошуків невідомих людству планет у Сонячній системі приступили лише в кінці XVIII століття. До цього було відомо про існування 6 планет, деяких супутників, що обертаються навколо них, і про комети, які періодично з'являлися на небосхилі, несучи людям страх щодо майбутнього.

13 березня 1781 року Вільям Гершель, англійський астроном-музикант німецького походження, виявив дивний об'єкт поруч із дзета Тільця в ході оглядових спостережень. Він описав його фразою «туманна зірка або, можливо, комета». Безліч фактів вказали на незвичайність даної «комети»: практично кругла орбіта навколо Сонця, велика відстань (у 18 разів далі, ніж від Землі до Сонця) і великі розміри (у кілька разів більше за Землю). Тільки через 2 роки спостережень Гершель зважився під тиском неспростовних даних і думок колег назвати відкрите ним тіло планетою. Зараз ми цю планету називаємо Ураном. Але в кінці XVIII століття це була справжня революція у свідомості: у Сонячній системі ще не всі великі планети відкриті!

Наступна подія, що розширила уявлення про можливі типи об'єктів у Сонячній системі, відбулася в першу ніч XIX століття. 1 січня 1801 Джузеппе П'яцци випадково виявив на тлі зір точковий об'єкт, який швидко рухався. Це була Церера (діаметр близько 1000 км) — перший і найбільший виявлений астероїд (2006 року віднесена до карликових планет). До цього були гіпотези, побудовані на основі правила Тиціуса—Боді (емпірична формула, яка приблизно описує відстані між планетами Сонячної системи і Сонцем), що між орбітою Марса і Юпітера повинна бути невідома планета, умовно названа «Фаєтон». Але спеціально організована група астрономів, створена незабаром після відкриття Урана, що ставила перед собою завдання знайти гіпотетичну планету на передвипередній орбіті, була приречена на безуспішні пошуки. Зате на сьогодні відомі близько півмільйона астероїдів розміром від одного до сотень кілометрів, більшість з яких обертаються по орбітах навколо Сонця між Марсом і Юпітером.

Через 65 років після відкриття Гершеля сталася ще одна важлива подія, яка змінила уявлення про можливості науки: Урбен Левер'є, французький математик, відкрив «на кінчику пера» восьму і останню велику планету Сонячної системи — Нептун. На основі постійних відхилень Урана від обчислюваного стану він припустив, що є якась зовнішня планета, яка збурює рух раніше відкритої планети-гіганта. Результати обчислень Левер'є виявилися настільки точні, що Йоганн Галле в першу ж годину пошуків виявив Нептун всього в одному градусі від обчислених координат раніше невідомої планети. Це був триумф науки і остаточне усвідомлення того, що епоху великих відкриттів у Сонячній системі ще не завершено.

У кінці XIX століття в астрономів знову з'явилися підозри, що збурення руху Урана по орбіті неможливо описати лише одним Нептуном, тож почали народжуватися нові проекти з пошуку невідомої планети. Найважливішим з них виявився проект Персівалю Лоуелла, бізнесмена з Бостона, засновника найбільшої приватної обсерваторії в США. 1906 року Лоуелл запровадив у своїй обсерваторії велику програму з пошуку планети, яку було відкрито тільки через 24 роки і названо Плутон.

Протягом останнього десятиліття XX століття було відкрито сотні астероїдів за орбітою Нептуна. Але відкриття перших п'яти років XXI століття змінили наше ставлення до дев'ятої планети: на орбітах, схожих за властивостями з орбітою Плутона, були виявлені нові великі тіла розташовані за ним, що зробило Плутон ря-

довим (але при цьому найбільшим) членом нового сімейства в Сонячній системі — плутіно. На сьогодні відомо понад 1000 об'єктів, що обертаються навколо Сонця за орбітою Нептуна.

Усі описані вище події свідчать про можливість існування невідомих досі великих планет у Сонячній системі. Особливу поширеність зараз отримала ідея «планети Нібіру» (у 3 рази більше за Землю!), яка, за неперевіреними даними, має прилетіти у внутрішню частину Сонячної системи 2012 року і спричинити катастрофічні наслідки.

Нібіру?

Опис міфічної планети Нібіру: «Ця планета (в 4 рази більша від Землі) рухається по витягнутій орбіті, з'являється між Марсом і Юпітером раз на 3 600 років (у деяких джерелах вказано, що пролетить між Сонцем і Землею) і населена високорозвиненою цивілізацією».

Якщо прийняти, що період Нібіру дорівнює 3600 років, то велика піввісь даного небесного тіла повинна дорівнювати 235 а. о. Таким чином, на основі проведених раніше досліджень, в 1/4 частині небесної сфери можна впевнено виключити ймовірність перебування тіла, що за розмірами подібна до Землі, на подібній орбіті. Таким чином, якщо б Нібіру існувала в тому вигляді, у якому вона фігурує в прогнозах і нібито являє небезпеку для Землі 2012 року, то зараз її вже легко можна було б бачити в телескоп.

У найближчі роки запрацюють нові системи автоматичного огляду: SkyMapper, Pan-STARRS і LSST, які приведуть до нових відкриттів на околицях Сонячної системи.

Не варто боятися і «параду планет», яким лякає кінофільм «2012»: астрономічні дані говорять про те, що Земля, Марс і Сатурн в цей день знаходитимуться в різних точках Сонячної системи, причому аж ніяк не на одній прямій з лінією Земля—Сонце, що є основною умовою поняття «парад планет».

Юпітер буде наближений до точки протистояння, але не точно на одній прямій Земля—Сонце.

IV. ЗАКРІПЛЕННЯ НОВОГО МАТЕРІАЛУ

1. Які типи об'єктів входять до складу Сонячної системи (назвіть у порядку віддаленості від Сонця великі планети)?
2. Назвіть основні особливості Сонячної системи.
3. Який астрономічний факт свідчить про сталість структури Сонячної системи?

4. Звідки береться пил у Сонячній системі?

Запитання до учнів у ході викладу нового матеріалу

1. Де розташована Сонячна система в Галактиці?
2. Де знаходиться границя Сонячної системи?
3. Чи можна визначити напрямок руху Сонячної системи у просторі на основі одних лише фотометричних спостережень?

Що ми дізналися на уроці

- Планета (грец. $\pi\lambda\alpha\eta\eta\tau\varsigma$ — той, що блукає) — кулясте несамо-світне тіло, що обертається навколо Сонця чи іншої зорі. Орбіта цього обертання дуже схожа на еліпс.
- Планетою Сонячної системи вважають астрономічний об'єкт, що обертається навколо Сонця, має достатню масу та силу тяжіння для того, щоб набути геоподібної форми, та має «незасмічену околицю», тобто він колись вивів зі своєї орбіти всі менші за нього тіла або ж переважну їх частину. Ті астрономічні об'єкти, що задовольняють дві перші умови, але не задовольняють третю, називають карликовими планетами. Винятком з цього правила є природні супутники планет.
- Планети Сонячної системи розташовані на відстанях, які підкоряються правилу Тиціуса—Боді: $r = 0,3 \cdot 2^n + 0,4$ (а. о.), де r — відстань від планети до Сонця. Для Меркурія $n = -1$; для Венери $n = 0$; для Землі $n = 1$; для Марса $n = 2$; для Юпітера $n = 4$ і т. ін.
- Сонячна система — планетна система, що включає в себе центральну зорю — Сонце — і всі природні космічні об'єкти, що обертаються навколо неї (8 великих планет: планети земної групи — Меркурій, Венера, Земля, Марс; планети-гіганти: Юпітер, Сатурн, Уран, Нептун, супутники 6 із них та 5 карликових планет; малі тіла — астероїди, комети, кентаври, метеороїди, космічний пил і транснептунові — Орк, Седна, Кварвар, Варуна, Іксіор та інші).
- Сонячна система входить до складу галактики Чумацький Шлях.

V. ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ

Читати § 17 (пп. 1, 2), підготувати повідомлення «Планети земної групи».

Урок 16/III-2

Тема. Подібність та відмінність між планетами земної групи та планетами-гігантами. Планети земної групи. Фізичні та орбітальні характеристики. Планети земної групи. Фізичні та орбітальні характеристики. Фізичні характеристики Землі. Внутрішня будова Землі. Будова атмосфери. Рухи в оболонках Землі. Клімат. Причини змін пір року. Місяць: фізичні характеристики та проблема походження. Рельєф та фізичні умови на поверхні.

Цілі:

- *навчальна:* розглянути основні особливості планет земної групи, їхні фізичні характеристики, установити причинно-наслідкові зв'язки явищ у Сонячній системі; показати роль науки у вивченні Венери і Марса за допомогою космічних апаратів; сформувати поняття про планети як класи космічних тіл (основні характеристики планет — маса, розмір, густина, хімічний склад, внутрішня будова);
- *розвивальна:* продовжити формування умінь самостійно працювати з навчальною, довідковою і науково-популярною літературою; продовжити розвиток інтересу до предмета, використовуючи методи роботи з довідковими джерелами, рольової гри, нових інформаційних технологій навчання;
- *виховна:* продовжити формування умінь узагальнювати факти, аналізувати їх; розвивати науковий світогляд у ході ознайомлення з історією вивчення і природою планет; шляхом ознайомлення з роллю української науки і техніки в дослідженні планет засобами астрономії і космонавтики продовжити патріотичне виховання учнів; ознайомити учнів із загальними відомостями про будову АМС і про практичне застосування результатів дослідження планет Сонячної системи з метою формування політехнічного світогляду учнів; розкрити роль науки у вивченні навколишнього середовища.

Нові поняття: планети земної групи.

- *Учні повинні мати уявлення про:* розподіл планет Сонячної системи на дві групи: планети земної групи та планети-гіганти; супутники планет.
- *Учні повинні знати:* головні подібності та відмінності між планетами земної групи; визначення планети, супутника планети, внутрішню будову, хімічний склад, енергетику, основні форми рельєфу, будову і склад атмосфери планет.
- *Учні повинні вміти:* описувати сучасну будову Сонячної системи; обґрунтовувати фізичні умови на поверхні планет Сонячної системи з точки зору фізичних законів.
- *Міжпредметні зв'язки:* фізика, математика, географія.

Демонстрації:

- 1) Таблиці фізичних та орбітальних характеристик планет.
- 2) Зображення об'єктів Сонячної системи.
- 3) Космічні знімки планет Сонячної системи.
- 4) Кінофрагменти «Ранкова зоря», «Червона планета», «Наша рідна планета».

Обладнання: комп'ютер; мультимедійний проєктор, екран; презентація «Планети Сонячної системи»; презентації, підготовлені учнями.

План заняття

Час	Метод навчання	Зміст роботи	Наочне приладдя, ТЗН
0,5 хв	Бесіда	Організаційний момент Перевірка готовності учнів до уроку. Стимулювання діяльності учнів, забезпечення їхньої загальної готовності, забезпечення своєчасного й організованого початку уроку	
1 хв.	Робота в групах	Актуалізація знань учнів Робота з картками (завдання 1–3)	
33 хв	Повідомлення учнів	Пояснення нового матеріалу 1) Подорож до планет земної групи: Меркурій, Венера, Марс. 2) Наша рідна планета та її супутник	Роздавальний матеріал, відеофрагменти, презентації, підготовлені учнями
7 хв	Робота в групах	Узагальнення матеріалу Схожість та відмінність між двома групами планет	
2 хв		Підбиття підсумків уроку	
1 хв		Домашнє завдання Читати § 14, 15	

*Земля — колиска розуму,
але не можна ж вічно жити в колиці.*

К. Е. Ціолковський

ХІД УРОКУ

I. ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ МОМЕНТ

II. АКТУАЛІЗАЦІЯ ОПОРНИХ ЗНАТЬ УЧНІВ

Планети можна поділити на два основні класи: великі, що мають невисоку густину, — планети-гіганти, і менш великі землеподібні планети, що мають тверду поверхню. Згідно з визначенням Міжнародного астрономічного союзу, у Сонячній системі 8 планет. У порядку віддалення від Сонця — чотири землеподібні: Меркурій, Венера, Земля, Марс, потім — чотири планети-гіганти: Юпітер, Сатурн, Уран і Нептун.

Починаючи з 1992 року, після того як було відкрито сотні планет навколо інших зір, названих екзопланетами, вчені почали розуміти, що планети можна виявити в Галактиці скрізь і їх характеристики схожі з аналогічними особливостями планет Сонячної

системи. Станом на грудень 2010 відомо вже 505 екзопланет — від планет-гігантів до планет земної групи.

III. ПОЯСНЕННЯ НОВОГО МАТЕРІАЛУ

1. Подорож до планет земної групи

Урок з цієї теми проводять у вигляді рольової гри «Космічна подорож до планет Сонячної системи».

Учні за два-три тижні необхідно попередити про тему майбутнього уроку, розділивши усіх на групи. Кожна група має підготувати повідомлення за однією із запропонованих тем для вивчення планет земної групи. Учні збирають повну інформацію про історію вивчення даних планет, методи вивчення фізичних характеристик цих планет (кожна група готує одну тему), а також заздалегідь готують питання за матеріалом, що опрацьовує інша група. Так, наприклад, учні, що готують повідомлення про планету Меркурій, готують питання для групи дітей, що вивчають властивості планети Венери.

Учні пропонують свої доповіді, супроводжуючи їх презентаціями, демонстрацією відеофрагментів.

Теми повідомлень

1. Меркурій — найближча до Сонця планета.
2. Венера — ранкова зоря.
3. Наша планета.
4. Червона планета.

Приблизний план повідомлення

1. Група, до якої належить планета.
2. Розмір і маса планети.
3. Відстань планети від Сонця.
4. Період її обертання та звернення.
5. Характеристика атмосфери.
6. Температурні умови.
7. Рельєф (для планет земної групи).
8. Число та характеристики супутників.
9. Цікаві подробиці про планету.

Подібність та відмінність планет земної групи

Загальні властивості	Подібність	Відмінність
Атмосфера		
Поверхня		

Планета	Рух	Темпера- тура, тиск	Рельєф	Атмо- сфера	Магнітне поле
Меркурій					
Венера					
Земля					
Марс					

Додаткові питання

Меркурій

1. Чи має Меркурій атмосферу?
2. Яка тривалість сонячної доби на Меркурії?
3. Назвіть найбільшу западину на Меркурії.
4. Коли і хто проводив перші дослідження Меркурія?

Венера

1. Хто вперше встановив, що Венера має потужну атмосферу?
2. Чи видно Землю з поверхні Венери?
3. Чим пояснити підвищене радіовипромінювання Венери?
4. Коли було отримано перше радіолокаційне відображення від Венери?
5. Скільки супутників у Венери?

Марс

1. Чому, на вашу думку, ця планета названа так, а не інакше?
2. Скільки супутників у Марса і як вони називаються?
3. Хто з учених вперше почав спостереження Марса?
4. Чи бувають на Марсі тумани? Що вони собою являють?
5. Як називається найвища гора на Марсі?
6. Чи є життя на Марсі?

Додаткова інформація про планети

Меркурій

Меркурій швидше за все був відкритий найдавнішими пастушачими племенами, що жили в долинах Нілу або Тигру і Євфрату. Однак нелегко було здогадатися, що порівняно яскрава вечірня і ранкова зорі — одне і те саме світило. Недарма в давніх народів воно мало 2 імені: у єгиптян — Сет і Гор, в індійців — Будда і Рогінея, греки ж його іменували Аполлон і Гермес (у римській міфології богу Гермесу відповідав Меркурій).

До середини XX ст. астрономи досить добре знали елементи орбіти Меркурія. Однак про фізичні властивості, природу планети,

період її обертання навколо осі до останнього часу було мало відомостей.

1974 р. американський космічний апарат «Марінер-10» пролетів поблизу Меркурія і передав на Землю зображення його поверхні. Астрономи були уражені. Перед ними постав другий Місяць.

Дослідження фотографічних зображень поверхні Меркурія дозволили скласти ймовірну картину еволюції планети. У початковий період Меркурій зазнав сильного внутрішнього розігрівання, наслідком чого було настання однієї чи кількох епох активного вулканізму.

Після завершення процесу формування планети її поверхня була гладкою (ділянки цієї давньої поверхні добре помітні). Далі настав період інтенсивного бомбардування Меркурія залишками допланетного рою (планетезималіями). Наступний етап характеризувався активним вулканізмом і виходом потоків лави, що заповнила великі басейни. Цей період завершився близько 3 млрд років тому.

Розміри Меркурія незначні, він трохи більший за Місяць, середня густина його майже така сама, як у Землі. Імовірно, до центра планети густина підвищується до 9800 кг/м^3 . Це значить, що в Меркурія має бути залізне ядро $R = 1800 \text{ км}$ ($3/4 R$ планети). На частку ядра припадає 80 % маси Меркурія. У ядрі генеруються кільцеві електричні струми, що збуджують слабе магнітне поле планети.

Меркурій обертається навколо осі за 58 земних діб, що складає $2/3$ меркуріанського року. День на Меркурії триває 88 діб, стільки ж триває ніч. Сонце втричі більше за видимим поперечником, ніж на Землі. Опівдні поверхня Меркурія нагрівається до 430°C , і тому свинець і олово повинні там виплавлятися з гірських порід і розтікатися по поверхні сріблястими калюжами.

Уночі, навпаки, температура становить 180°C нижче нуля. Ці теплові контрасти не пом'якшуються бодай скільки-небудь густою атмосферою. Атмосфера навколо Меркурія є, але вона вкрай розріджена і створює біля поверхні тиск усього в 10^{-12} бар. Головна складова меркуріанської атмосфери — це гелій. У незначній кількості наявні H_2 , O_2 , CO_2 з чадним газом.

Кожен атом Гелію міститься в атмосфері Меркурія в середньому 200 днів, після чого він заміщається атомами Гелію, що викидає безупинно Сонце. Гелієва атмосфера, яка постійно поновлюється, — екзотична особливість Меркурія.

Оскільки на Місяці і Марсі більшість деталей названі іменами астрономів та інших натуралістів, було вирішено для меркуріанського рельєфу використовувати імена видатних діячів гуманітарного напрямку — письменників, поетів, художників, композиторів. Лише як виняток декільком деталям на поверхні Меркурія дали імена астрономів, що зробили особливо великий внесок у вивчення цієї планети. Так, наприклад, з'явилася гірська гряда Антоніаді, гряда Скіапареллі — піонерів у відкритті меркуріанського рельєфу.

Венера

Ця планета — одне з найкрасивіших світил неба. Не випадково саме її давні римляни назвали на честь богині любові і краси.

Для земного спостерігача Венера не відходить від Сонця далі, ніж на 48° . Це пояснюється тим, що вона розташована ближче до Сонця, ніж Земля. Протягом 585 діб чергуються періоди її вечірньої і вранішньої видимості.

У Венери найгустіша атмосфера серед планет земної групи, найповільніше обертання навколо осі і найменший ексцентриситет орбіти ($e = 0,007$).

1761 р. очікувалося рідкісне небесне явище: проходження Венери перед диском Сонця. Багато астрономів готувалися до цієї події і навіть споряджали експедиції в далекі краї для спостережень. Адже якщо спостерігати моменти заступання Венери на сонячний диск і сходження з його з різних, віддалених один від одного пунктів Землі, можна обчислити відстань від Землі до Сонця — а. о., що входить у багато формул небесної механіки.

Готувалися до спостережень і російські астрономи. Їхнім організатором був М. В. Ломоносов. Коли чорний диск Венери сходив із сонячного диска, Ломоносов помітив, що тонка дуга на краю Сонця зігнулася, ніби піднята диском Венери, й утворився яскравий виступ — «пупир», який лопнув, після чого диск Венери злився з темним тлом неба. Це явище, вже у XX ст. одержало назву явище Ломоносова: припустивши, з чого складається атмосфера Венери, Ломоносов, підсумував своє дослідження так:

«За цими примітками пан радник Ломоносов вважає, що планета Венера оточена знатною повітряною атмосферою, такою (аби не більшою), яка обливається біля нашої кулі земної».

У 60-х р. XIX ст. астрономи вперше спробували з'ясувати склад атмосфери Венери методом спектрального аналізу, вони насамперед сподівалися знайти там «гази життя — кисень і водяну пару». На жаль, їхні сподівання не виправдалися.

У середині 50-х рр. почалися дослідження Венери методами радіоастрономії, а в 60-ті рр. до цієї незвіданої планети полетіли міжпланетні станції, створені інженерами СРСР і США. Упродовж наступних 40 років про природу Венери стало відомо більше, ніж за 350 років телескопічних спостережень.

Після висадження на поверхню Венери станції «Венера-7» (XII, 1970), «Венера-8» (VII, 1972) з'ясувалося, що температура на поверхні Венери ще вища — $730\text{--}740\text{ К}$.

У чому причина настільки сильного розігрівання Венери, адже вона усього лише вдвічі більше одержує тепла, ніж Земля? Атмосфера Венери здатна пропускати сонячне тепло, але не випускає його назовні, поглинаючи випромінювання самої планети. Поглиначами є вуглекислий газ, на долю якого припадає 96 % складу атмосфери, і водяна пара, хоча її небагато (частинки відсотка).

Тиск біля поверхні Венери досягає 90 атмосфер.

На рівні 65–70 км над поверхнею Венери дують ураганні вітри постійного напрямку — зі сходу на захід (біля 110 м/с). Хмари Венери складаються з крапельок концентрованої сульфатної кислоти, крім того, сульфатна кислота легко з'єднується з водою.

Ретельна радіолокаційна зйомка північної півкулі Венери з автоматичних станцій «Венера-15» і «Венера-16», виведених 1984 р. на орбіти супутників планети, показала, що багато гірських вершин мають на схилах явні сліди потоків лави. Вулкани виявляють себе й в іншому: їхні виверження породжують потужні електричні розряди — справжні грози в атмосфері Венери, що неодноразово реєстрували прилади станцій серії «Венера». Безперечно, там трапляються венеротрясіння. Порівняння зображень, отриманих апаратом «Магеллан» з інтервалом у рік, виявило явні зміни форм поверхні.

Рельєф планети складається з великих рівнин, перерізаних гірськими хребтами і височинами типу плато. Гірські області схожі на земні материки. Низовини, схожі на океанські басейни Землі, займають тільки шосту частину поверхні планети, тоді як на Землі 2/3.

У Венери має бути рідке залізне ядро, але руху речовини в ньому не відбувається — немає переміщення заряджених частинок, тобто електричного струму, а значить, і не виникає власне магнітного поля.

Марс

Давні греки присвячували всі планети богам, і, звісно, для бога війни Ареса не знайшлося більш придатного об'єкта, ніж червону-

вата зоря в чорному небі. У римській міфології Аресу відповідав Марс. Так планета знайшла своє нинішнє ім'я. Утім, на Русі аж до XVIII ст. використовували грецькі назви планет, і Марс іменували Аррисом, чи Ареєм.

Вісь обертання Марса нахилена відносно площини орбіти на 22° усього на $1,5'$ менше, ніж вісь обертання Землі нахилена до площини екліптики.

Марсіанський день мало чим відрізняється від земного: доба триває 24 год 37 хв.

Унаслідок малої маси сила ваги на Марсі втричі нижче, ніж на Землі. На сьогодні структура гравітаційного поля Марса детально вивчена. Вона вказує не невеликі відхилення від однорідного розподілу густини в планеті. Ядро може мати радіус до половини радіуса планети. Очевидно, воно складається майже з чистого заліза або сплаву (Fe-S-Fe — сульфід заліза) і, можливо, розчиненого в них водню.

Очевидно, ядро Марса частково чи цілком перебуває в рідкому стані. Наявність у планети власного, хоча і слабого магнітного поля підтверджує це.

Марс повинен мати щільну кору товщиною 70–100 км. Між ядром і корою знаходиться силікатна мантія, збагачена залізом. Червоні окисли заліза, що містяться в поверхневих породах, визначають колір планети. Зараз Марс продовжує остигати. Сейсмічна активність планети слабка.

Ще 1659 р. нідерландський учений Християн Гюйгенс уперше виявив темні області на Марсі. Приблизно в той же час італієць Джованні Домініко Кассіні знайшов на планеті полярні шапки. До початку польотів на Марс розгадати природу деталей не вдавалося, хоча стосовно цього висловлювали безліч гіпотез. Тільки в 60–70-ті рр. XX ст. фотографії радянських «Марсів» і американських «Маринерів» дозволили досліджувати рельєф червоної планети з близької відстані, а «Вікінги» перенесли нас просто на неї.

Метеоритні кратери покривають $2/3$ поверхні планети, але через вивітрювання вони встигли втратити «форму».

Вигляд північної півкулі — суцільні рівнини, покриті давніми виверженими породами.

Вулкани Марса, як за земними мірками, явища виняткові. Але навіть серед них виділяється вулкан Олімп, діаметр основи якого 550 км, а висота 27 км (тобто він втричі перевершує Еверест). Олімп увінчаний 60-кілометровим кратером.

У минулому величезну роль у формуванні марсіанського рельєфу відігравала проточна вода. На старих високогір'ях трапляються залишені водою вимоїни протяжністю на багато сотень кілометрів.

Атмосфера Марса більш розріджена, ніж повітряна оболонка Землі. За складом вона нагадує атмосферу Венери і на 95 % складається з вуглекислого газу. Близько 4 % припадає на частку азоту й аргону. Кисню і водяної пари в марсіанській атмосфері менше 1 %. Тиск біля поверхні складає 0,006 земного тиску, але може підвищуватися до 0,01.

Середня температура на Марсі значно нижче, ніж на Землі, близько -40°C . Улітку вдень $+25^\circ\text{C}$, але вночі узимку до -125°C . Це спричинено тим, що розріджена атмосфера Марса не може довго утримувати тепло.

Над поверхнею планети часто дмуть сильні вітри — до 100 м/с. Мала сила ваги дозволяє навіть розрідженим потокам повітря здійснювати величезні пилові бури. Найчастіше вони виникають поблизу полярних шапок. Іноді досить великі області на Марсі бувають охоплені грандіозними пиловими бурями.

Зміна пір року на Марсі відбувається так само, як і на Землі. Яскравіше за все сезонні зміни виявляються в полярних областях. У зимовий час полярні шапки охоплюють значну площу. Границя північної полярної шапки може віддалятися від полюса на третину відстані від екватора, а границя Південної шапки долає відстань, що дорівнює половині цього. Ця різниця зумовлена тим, що в Північній півкулі зима настає, коли Марс проходить через перигелій своєї орбіти, а в Південній — коли Марс проходить через афелій (тобто в період максимального віддалення від Сонця); через це зима в Південній півкулі холодніша, ніж у Північній.

Малюсінські супутники Марса, що були відкриті Асафом Холлом у 1877 р. і названі Фобосом і Деймосом, у середині XX століття привернули до себе загальну увагу. 1945 р. американський астроном Б. Шарплесс обробив ще раз старі спостереження Фобоса, виконані в Пулково ще в XIX в., і, зіставивши їх із даними більш пізнього часу, дійшов висновку, що Фобос навколо Марса рухається прискорено. Але це могло бути спричинене опором марсіанської атмосфери. Добре відомо, що гальмування штучних супутників у верхніх шарах атмосфери зменшує їхню кінетичну енергію.

Фобос має розміри $28 \times 20 \times 18$ км, Деймос — $16 \times 12 \times 10$ км. на Деймосі є гори заввишки 1500 м. Складено карту Фобоса: найбільший його кратер назвали Стикії — на честь дівочого прізвища

дружини Холла. Його ім'я носить інший великий кратер у Південній півкулі Фобоса.

Почали складати карту Деймоса. Один з його кратерів дістав ім'я Свіфта, фантазія якого задовго до відкриття супутників випадково підказала йому їх віддаленість від планети і періоди обертання навколо неї.

«...Крім того, вони відкрили 2 маленькі зорі чи два супутники, що обертаються навколо Марса. Найближчий з них віддалений від центра цієї планети на відстань, що дорівнює трьом її діаметрам, другий знаходиться від неї на відстані п'яти таких діаметрів» («Пригоди Гуллівера»).

Деякі дослідники вважають, що супутники Марса потрапили до нього не з власної волі, а були захоплені з пояса астероїдів.

Планети земної групи

Планетам земної групи властиві порівняно невеликі розміри і маси, велика середня густина (для Меркурія, Венери і Землі відповідно 5,4, 5,2 і 5,5 г/см³, для Марса 3,97 г/см³) і тверда поверхня. Практично однакові значення густин свідчать про подібність співвідношень вмісту хімічних елементів, з яких утворені надра планет. Складаються переважно з силікатів і металевого заліза, кисню, кремнію, заліза, магнію, алюмінію та інших важких елементів.

Зовсім інший вигляд має порівняння хімічного складу атмосфер. Так, Меркурій має дуже розріджену газову оболонку, основним компонентом якої є гелій. Атмосфера Венери на 97 % складається з вуглекислого газу; азоту в ній менше 2 %, вміст водяної пари поблизу поверхні планети — всього 0,002 %. Аналогічно в атмосфері Марса вуглекислого газу 95 %, азоту 2,7 %, водяної пари 0,1 %. Щоправда, маси цих двох атмосфер різні. Атмосфера Марса дуже розріджена, і тиск біля його поверхні в середньому у 160 разів менший, ніж на рівні моря для Землі. Атмосфера Венери, навпаки, дуже густа, біля поверхні її густина лише у 15 разів менша від густини води і тиск — близько 90 атм. Отже, порівняно з іншими планетами земної групи, Земля має унікальний склад атмосфери, де переважають азот і кисень.

Згідно із сучасними теоріями колись у земній атмосфері також було багато вуглекислого газу, який посідав у ній друге місце за вмістом. Однак за наявності на Землі води, яка дуже добре розчиняє вуглекислий газ, під час формування осадових порід на дні океану він досить швидко був зв'язаний у вигляді карбона-

ту в крейді та вапняку. Живі організми сприяють цьому процесу впродовж мільярдів років, тому практично весь вуглекислий газ зник з атмосфери планети. Якби зараз цей газ раптово виділився, тиск біля поверхні Землі збільшився б до 40 атм.

Ще одна особливість планет земної групи: вони повільно обертаються навколо своїх осей. Зоряна доба на Меркурії триває близько 59 земних діб, а на Венері, як було виявлено у 1966 р. радіолокаційним методом, — 243,2 земної доби, причому планета обертається навколо осі у зворотному напрямку, тобто за годинниковою стрілкою, якщо дивитися на неї з боку північного полюса, а не проти, як більшість планет Сонячної системи. Земля і Марс обертаються навколо осей значно швидше, відповідно за 23 год 56 хв і 24 год 37 хв. Але це все одно набагато повільніше, ніж планети-гіганти.

Учні, заслуховуючи доповіді однокласників, заповнюють другу колонку таблиці (третя колонка буде заповнена на наступному уроці).

	Планети земної групи	Планети-гіганти
Маса планети		
Розмір (радіус)		
Періоди обертання навколо осі		
Кількість супутників		
Густина		
Тверда оболонка		
Хімічний склад твердої оболонки		
Середня молекулярна маса атмосфери		
Місце розташування в Сонячній системі		
Ефективна температура		
Магнітні поля		

2. Наша рідна планета та її супутник

Земля рухається навколо Сонця по близькій до колової орбіті, середній радіус якої — 149,6 млн км — прийнято за 1 астрономічну

одиницю. Період обертання по орбіті дорівнює часу 365,256 кульмінації «середнього Сонця», або земної доби, швидкість руху по орбіті — 29,8 км/с. Нахил площини екватора до площини орбіти дорівнює $23^{\circ}27'$.

Маса Землі — $5,972 \cdot 10^{24}$ кг, середній радіус — 6371 км, середня густина — 5510 кг/м^3 . Екваторіальний радіус планети становить $R = 6378 \text{ км}$. Земля має грушоподібну форму, звану геоїдом. Полярний радіус менше і дорівнює $R_p = 6356 \text{ км}$. Декомпозиція Землі з полюсів пояснюється її обертанням. Прискорення вільного падіння на поверхні становить в середньому $g = 9,78 \text{ м/с}^2$.

Вік Землі, за даними радіоізотопного методу й астрономічних досліджень, близький до 4,5 мільярда років.

Хімічний склад Землі: залізо — 39,9 %, кисень — 27,7 %, кремній — 14,5 %, вуглець — 0,04 % (усього 88 елементів).

Надра Землі як найбільш масивної з планет земної групи Сонячної системи відрізняються найбільшим ступенем диференційованості речовини і найбільшою інтенсивністю процесів гравітаційної диференціації. Еволюція земних надр триває і до сьогодні. Теплова енергія Землі — близько $1,3 \cdot 10^{27}$ Дж.

Відповідно до більшості фізичних моделей, підтверджених даними геофізичних досліджень, Земля має внутрішнє ядро радіусом близько 1221 км, що складається з декількох твердих шарів заліза з різним ступенем орієнтації кристалів, оточених зовнішнім рідким ядром завтовшки 2225 км. Передбачається, що воно складається зі сплавів заліза (89 %), нікелю (7 %), сульфиду заліза Fe (4 %) та інших металів і важких хімічних елементів і відповідає за складом залізним метеоритам. Температура в центрі Землі 6300 К, тиск $3,6 \cdot 10^{11} \text{ Па}$, густина речовини $13\,000 \text{ кг/м}^3$.

Обертання Землі розділяє бар'єром циліндричної форми рідини зовнішнього ядра на 2 різні області — внутрішню із твердим ядром і розпеченими розплавами в полярних областях і більш холодну зовнішню. Насичена залізом рідина усередині циліндра обертається подібно до повітряних потоків циклона, набуваючи подібної з ним структури, і генерує магнітне поле планети, прискорюючи обертання внутрішнього ядра Землі. Вона сповільнює своє обертання в результаті приливної дії Місяця повільніше, ніж всі інші земні оболонки, і швидкість її обертання трохи вище від швидкості обертання планети (на 1 оберт у 1 000 років). В основному обсязі ядра й у приповерхневих шарах відбуваються коливальні процеси з періодами 300–1000 років і 20–120 років.

Мантия загальною товщиною 2900 км розділяється на нижню (2037 км), середню (600 км) і верхню (250 км), на границях яких відбуваються стрибкоподібні зміни у фізико-хімічних характеристиках речовини, що перебуває в напіврідкому (в'язкому) стані. Передбачається, що мантия складається в основному з окислів кремнію, магнію і заліза, що відповідає за складом залізокам'яним метеоритам. Температура і тиск усередині мантиї змінюються від $p = 1,3 \cdot 10^{11} \text{ Па}$ за $T = 4300 \text{ К}$ на границі з ядром, до $p = 1,4 \cdot 10^{10} \text{ Па}$ за $T = 800 \text{ К}$ — на границі з літосферою.

Ядро і мантия містять у собі близько 99,6 % маси планети; літосфера — 0,375 %; атмосфера — 0,0001 % і біосфера близько 0,0000003 %.

Від межі земного ядра, із глибин 2900 км до літосфери мантию пронизують наскрізь мантийні плюми («пера») — стовпи розпеченої речовини діаметром 150–200 км і температурою, на 200–300 К вищою за навколишнє середовище. Вони переносять до поверхні Землі теплову енергію, що виділяється в ядрі планети. «Мантийний вітер» — рух розплавлених порід під впливом конвекції речовини — відхиляє плюми від вертикалі. У верхній мантиї плюми розгалужуються; над ними відбуваються інтенсивні тектонічні і вулканічні процеси.

Літосфера (кора) завтовшки 4–6 км під океанами і 30–70 км під материками. Середній рівень земної кори — 2430 км. У будові літосфери Землі виділяють 3 шари: осадових гірських порід (10–15 км), гранітів під материками і під ними щільних базальтів.

Густина літосфери становить $2,8 \text{ г/см}^3$.

Середній хімічний склад літосфери: кисень — 49,4 %, кремній — 25,8 %, алюміній — 7,5 %, залізо — 4,7 %, вуглець — 0,087 %. Склад континентальної кори трохи інший: кисню — 45,2 %; кремнію — 27,2 %; алюмінію — 8,0 %; заліза — 5,6 %; кальцію — 5,1 %; магнію — 2,8 %; натрію — 2,3 %; калію — 1,7 %; титану — 0,9 %; інших елементів близько 1 %.

Відповідно до теорії Ю. В. Баркіна, всі оболонки Землі мають ексцентричність і відносну рухомість. Їхні центри мас не збігаються. Оболонки зазнають періодичних коливань внаслідок дії внутрішніх і зовнішніх космічних факторів (збурювальної дії Сонця, Місяця і планет). Наслідками є передбачуване зміщення центра мас Землі зі швидкістю 6,47 см за століття і різноманітні потужні геодинамічні і геофізичні процеси (активність мантийних плю-

мів, сейсмічність, вулканізм, гороутворювальні процеси, підняття й опускання суходолу і т. ін.).

Окремі частини (блоки) літосфери зміщуються незалежно один від одного протягом мільйонів років на сотні і тисячі кілометрів. У зонах розламів меж плит формується нова океанська кора. На ділянках опускання літосферні плити занурюються в мантию на глибину до 660 км.

На сьогодні на поверхні Землі виділяють 6 великих масивів земної кори — континентів, що виступають над рівнем Світового океану: Євразію (55 млн км²), Африку (30 млн км²), Північну Америку (24 млн км²), Південну Америку (18 млн км²), Антарктиду (14 млн км²) і Австралію (8,5 млн км²).

Історично сформовані підрозділи суходолу земної кулі, що включають той чи інший материк або його частину з розташованими поблизу островами, називають частинами світу. Виділяють Європу, Азію, Африку, Австралію з Океанією, Америку й Антарктиду.

Земля має велику водну оболонку — гідросферу масою $1,44 \cdot 10^{23}$ кг (0,024 $M_{\text{З}}$) і обсягом $1,616 \cdot 10^{11}$ км³, що включає в себе усі взаємозалежні підземні води, води суходолу, рік і озер (0,65 %), морів і океанів (97,2 %), водну пару атмосфери і запаси снігу і льоду (2,15 %), що перебувають у постійному кругообігу. Льодовики і вічні сніги займають площу 14 000 км²; внутріконтинентальні водойми — 2000 км². Загальний запас енергії води на Землі величезний: у Європі й Азії — $1,08 \cdot 10^{12}$ Вт, у Північній Америці — $3,1 \cdot 10^{11}$ Вт і в Африці — $7,8 \cdot 10^{11}$ Вт. Енергія припливів становить близько $2,7 \cdot 10^{12}$ Вт.

Світовий океан об'єднує 4 найбільших океани — Тихий, Атлантичний, Індійський і Північно-Льодовитий (загальною площею 361 млн км²) і всі моря — частини океанів, що вдаються в суходіл і відділені від нього островами, півостровами або підводними хребтами. Середня глибина Світового океану — 3704 м, найбільша — 11 022 м (Маріанська западина). Дно морів і океанів має складний, хоча і менш розчленований, ніж суходіл, рельєф, у якому виділяють:

- шельф — мілководну материкову обмілину, рівнину глибиною до 500 м і шириною до 1500 м, що займає 8 % площі Світового океану. На дні шельфу зосереджено величезні запаси корисних копалин осадового походження (нафти, газу і т. ін.);
- материкову обмілину, що має круті східчасті схили; на глибині до 3–5 км, на дні, — гори, каньйони, улоговини, у яких заляга-

ють колосальні запаси залізо-марганцевих поліметалевих руд (12 % площі океанів);

- абісаль — ложе океану на глибині 8–10 км (80 % площі), розчленоване на великі улоговини і западини могутніми підводними хребтами завдовжки до 6000 км, завширшки до 400 км і заввишки в кілька кілометрів (найвищі вершини виступають над водою вулканічними островами). Уздовж і поперек хребтів є розлами — рифти, на дні яких залягають базальти, схожі за складом з породами мантиї.

Гідросфера акумулює і перерозподіляє сонячне тепло. У районі екватора вода, зігріваючись, піднімається з глибин і розноситься морськими течіями шириною від 10 до 100 км і глибиною до 1 км із середньою швидкістю руху 2–3 км/год у помірні широти і далі, до полюсів, де остигає, стає густішою й опускається вниз. Обертання планети відхиляє плинні до 45° вправо в Північній, уліво — у Південній півкулях. Процеси в гідросфері перебувають у складній взаємодії з процесами в атмосфері і літосфері Землі і поряд з ними формують клімат і погоду. Так, морські течії зумовлюють вітри — пасати, що постійно дмуть в одному напрямку, нахил рівня моря і т. ін. Ділянки океанів, у яких немає плиннів, знаходяться в зонах найбільшого атмосферного тиску. Припливи гальмують обертання Землі навколо осі і т. ін. Енергія плиннів величезна. Так, енергія Гольфстріму складає $2,2 \cdot 10^{14}$ Дж.

Земля одержує лише 1/2 000 000 000 частину сонячної енергії. На 1 м² місцевості, перпендикулярної до падіння сонячних променів за межами земної атмосфери, потрапляє 1,36 кВт сонячної енергії.

Упродовж мільярдів років існування Землі установилася рівновага, за якої Земля випромінює в космос ту саму кількість енергії, яку одержує від Сонця, але переважно в інфрачервоному (тепловому) діапазоні довжин хвиль з максимумом близько $8,6 \cdot 10^{-6}$ м, що активно поглинається молекулами водяної пари і вуглекислого газу. Тому навіть незначні коливання в концентрації цих газів в атмосфері впливають на тепловий баланс Землі і формування клімату. Завдяки парниковому ефекту середня температура Землі на 40 К вище від ефективної температури, обумовленої потоком сонячної енергії і тепловим випромінюванням Землі. Без парникового ефекту в атмосфері температура на поверхні Землі становила б близько –24 °С і життя стало б неможливим. Парниковий ефект згладжує добові перепади температур до 15 К.

Багаторічний режим погоди — клімат — це характерна для даної місцевості сукупність послідовних змін станів погоди за десятки років, що обумовлено взаємодією атмосфери, гідросфери і поверхні Землі. З-поміж основних кліматотвірних факторів виділяють:

1. Фізичні (обертання Землі навколо Сонця; обертання Землі навколо осі, сталість і величина нахилу земної осі; тепловий баланс, фізичні характеристики, склад і динаміка атмосфери, динаміка гідросфери і т. ін.).
2. Географічні (широта місцевості, висота над рівнем моря, відстань до берегової лінії океану (материка), рельєф місцевості і т. ін.).

Земля має магнітне поле індукцією $5 \cdot 10^{-5}$ Тл, подібне за структурою до поля однорідної намагніченої кулі — сферичного магніту, вісь якого нахилена до осі обертання Землі на $11,5^\circ$. Північний магнітний полюс Землі розташований у її Південній півкулі і має координати: $76,6^\circ, 70,1^\circ$. Південний полюс розташований у Північній півкулі. Чудовою властивістю геомагнітного поля є змінюваність величини індукції і дрейфування магнітних полюсів по земній поверхні: вони можуть навіть мінятися місцями.

Сучасні теорії геомагнетизму уподібнюють Землю до динамо-машини із самозбудженням, виходячи із припущення, що магнітне поле Землі створюється і підтримується за рахунок обертання зовнішнього ядра планети. Процес генерації геомагнітного поля залишається незмінним протягом 250 млн років.

Магнітне поле планети розмірами до $6,38 \cdot 10^6$ м, яке обтікає в космосі сонячний вітер, називається магнітосферою. Заряджені частинки потоків сонячного вітру (електрони і протони) густиною 10^8 частинок/см² зі швидкостями 400–1000 км/с, що потрапляють усередину магнітосфери, і електрони, випромінювані магнітосферою Юпітера, захоплює магнітне поле Землі, і вони починають рухатися по гвинтоподібних траєкторіях навколо силових ліній магнітного поля, утворюючи радіаційні пояси.

Якби в Землі була відсутня магнітосфера, космічна радіація убила б на ній усе живе. Однак велика частина космічних променів відхиляється магнітним полем Землі, а частина захоплюється, і лише найбільш енергійні частинки досягають верхніх шарів атмосфери, в основному в області земних полюсів, і спричиняють світіння розріджених газів — полярні сяйва. При цьому виділяється енергія до $2 \cdot 10^{12}$ Вт, що перевищує потужність всіх електростанцій Землі.

Космічні об'єкти і космічні процеси впливають на всі природні оболонки Землі й еволюцію планети.

Місяць — єдиний природний супутник нашої планети. Це другий за яскравістю об'єкт на земній небозводі після Сонця і п'ятий за величиною природний супутник планет Сонячної системи. Він також є першим і єдиним позаземним об'єктом природного походження, на якому побувала людина. Середня відстань між центрами Землі і Місяця — 384 467 км.

- Радіус = 1738 км
- Велика піввісь орбіти = 384 400 км
- Орбітальний період = 27,321661 діб
- Ексцентриситет орбіти = 0,0549
- Нахил орбіти екватора = $5,16^\circ$
- Температура поверхні = від -160°C до $+120^\circ\text{C}$
- Доба = 708 годин
- Відстань від Землі = 384 400 км

Гравітаційні сили між Землею і Місяцем спричиняють деякі цікаві ефекти. Найвідоміший з них — морські припливи і відливи.

Вивчаючи геологічну будову Місяця, можна багато дізнатися про будову та розвиток Землі.

Вимірювання швидкості супутників «Лунар Орбітер» дозволили створити гравітаційну карту Місяця. З її допомогою було виявлено унікальні місячні об'єкти, названі масконами, — це маси речовини підвищеної щільності.

Місяць не має магнітного поля. Але деякі з гірських порід на його поверхні виявляють залишковий магнетизм, що вказує на те, що, можливо, в історії у Місяця магнітне поле було.

Не маючи ні атмосфери, ні магнітного поля, поверхня Місяця знає безпосереднього впливу сонячного вітру. Протягом 4 мільярдів років водневі іони з сонячного вітру занурювались у реголіт Місяця. Таким чином, зразки реголіту, доставлені Аполлоном, виявилися дуже цінними для дослідження сонячного вітру. Цей місячний водень також може бути використаний колись як ракетне паливо.

Залишені на Місяці сейсмографи показали наявність сейсмічної активності. Через відсутність води коливання місячної поверхні можуть тривати понад годину.

Поверхню Місяця можна розділити на два типи: дуже стара гірська місцевість з великою кількістю кратерів (місячні материки) і відносно гладкі і молоді місячні моря. Місячні моря, які становлять приблизно 16 % всієї поверхні Місяця, — це величезні крате-

ри, що виникли в результаті зіткнень з небесними тілами, які були пізніше затоплені рідкою лавою. З незрозумілої причини місячні моря сконцентровані на зверненому до нас боці.

Більшість кратерів на зверненій до нас стороні названо іменами знаменитих людей історії науки, таких як Тихо Браге, Коперник і Птолемей. Особливості ландшафту на зворотному боці мають сучасніші назви типу Аполлон, Гагарін, Корольов — в основному це російські назви, оскільки перші знімки зроблено радянським кораблем «Місяць-3».

IV. ЗАКРІПЛЕННЯ НОВОГО МАТЕРІАЛУ

1. Які типи об'єктів входять до складу Сонячної системи (назвіть у порядку віддаленості від Сонця великі планети)?
2. Назвіть основні особливості Сонячної системи.
3. Який астрономічний факт свідчить про сталість структури Сонячної системи?
4. Звідки береться пил у Сонячній системі?
5. Перелічити основні відмінності планет земної групи порівняно з планетами-гігантами. (Очікувана відповідь: маса, розміри, періоди обертання, число супутників, густина, місце в Сонячній системі, умови виникнення)
6. Як відрізняються умови освітлення Сонцем планет земної групи і планет-гігантів? (Очікувана відповідь: планети земної групи одержують більше тепла від Сонця, температура на поверхні вища.)
7. На яких планетах виявляється парниковий ефект? (Очікувана відповідь: на Венері, Землі.)
8. З чого переважно складаються планети земної групи? (Очікувана відповідь: планети земної групи здебільшого складаються з густої кам'янистої речовини і металів.)
9. Яка середня густина планет земної групи? ($4000\text{--}5500\text{ кг/м}^3$)
10. Яка планета земної групи має гідросферу і біосферу? (Очікувана відповідь: Земля.)
11. Які планети земної групи мають тверді оболонки, у яких міститься практично вся їхня маса? (Очікувана відповідь: усі.)
12. Які планети земної групи мають густу атмосферу? (Очікувана відповідь: Венера, Земля. Марс має також атмосферу, але менш густу. Меркурій атмосфери практично не має.)
13. Який хімічний склад атмосфер планет земної групи? (Очікувана відповідь: на Землі 78 % азоту і 21 % кисню; на Венері — 96,5 % вуглекислого газу; на Марсі 95 % вуглекислого газу.)

Запитання до учнів у ході викладу нового матеріалу

1. На який із планет Земної групи найгустіша атмосфера?
2. На який із планет земної групи найвищі гори?
3. Яка з планет земної групи найповільніше обертається?
4. На якій із планет земної групи найдовша доба?
5. Що таке гравітаційний резонанс?
6. Яка з планет Земної групи найбільше схожа на Місяць?
7. Який учений відкрив атмосферу у Венери?
8. У якої планети земної групи відсутнє магнітне поле?
9. З чого складаються влітку полярні шапки Марса?
10. Яка планета на нашому небокраї має найсильніший блиск?

V. ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ

Читати § 14, 15

Урок 17/III-3

Тема. Планети-гіганти. Фізичні та орбітальні характеристики. Супутники планет. Кільця планет. Карликові планети

Цілі:

- *навчальна:* продовжити ознайомлення з основними особливостями планет Сонячної системи — планет-гігантів, їхніми фізичними характеристиками, установити причинно-наслідкові зв'язки явищ у Сонячній системі; показати роль науки у вивченні Юпітера, Сатурна, Урана, Нептуна за допомогою космічних апаратів; сформувати поняття про планети як класи космічних тіл (основні характеристики планет — маса, розмір, густина, хімічний склад, внутрішня будова);
- *розвивальна:* продовжити формування умінь самостійно працювати з навчальною, довідковою і науково-популярною літературою; продовжити розвиток інтересу до предмета, використовуючи методи роботи з довідковими джерелами, рольової гри, нових інформаційних технологій навчання;
- *виховна:* продовжити формування самостійного мислення, уміння узагальнювати факти, аналізуючи їх; розвивати науковий світогляд у ході ознайомлення з історією вивчення і природою планет; шляхом ознайомлення з роллю української науки і техніки в дослідженні планет засобами астрономії і космонавтики продовжити патріотичне виховання учнів; ознайомити учнів із загальними відомостями про будову АМС і про практичне застосування результатів дослідження планет Сонячної системи з метою формування політехнічного світогляду учнів; розкрити роль науки у вивченні навколишнього середовища.

Нові поняття: планети-гіганти, карликові планети.

- *Учні повинні мати уявлення:* про розподіл планет Сонячної системи на дві групи — планети земної групи та планети-гіганти; супутники планет.
- *Учні повинні знати:* головні подібності та відмінності між планетами земної групи та планетами-гігантами; визначення планети, супутника планети, карликової планети; внутрішню будову, хімічний склад, енергетику, основні форми рельєфу, будову і склад атмосфери, планет.
- *Учні повинні вміти:* описувати сучасну будову Сонячної системи; обґрунтовувати фізичні умови на поверхні планет Сонячної системи з точки зору фізичних законів.
- *Міжпредметні зв'язки:* фізика, математика, географія.

Демонстрації:

- 1) таблиці фізичних та орбітальних характеристик планет;
- 2) зображення об'єктів Сонячної системи;
- 3) космічні знімки планет Сонячної системи;
- 4) кінофрагменти «Планети-гіганти».

Обладнання:

- 1) комп'ютер; мультимедійний проектор, екран;
- 2) презентація «Планети-гіганти»;
- 3) презентації, підготовлені учнями.

План заняття

Час	Метод навчання	Зміст роботи	Наочне приладдя, ТЗН
0,5 хв	Бесіда	Організаційний момент Перевірка готовності учнів до уроку. Стимулювання діяльності учнів, забезпечення їхньої загальної готовності, забезпечення своєчасного й організованого початку уроку	
1 хв	Робота в групах	Актуалізація знань учнів Робота з картками (завдання 1–3)	
25 хв	Повідомлення учнів	Пояснення нового матеріалу 1) Подорож до планет-гігантів: Юпітер, Сатурн, Уран, Нептун. 2) Карликові планети	Роздавальний матеріал, відеофрагменти, презентації, підготовлені учнями
15 хв	Робота в групах	Узагальнення матеріалу Особливості планет земної групи, планет-гігантів. Схожість та відмінність між двома групами планет	
2 хв		Підбиття підсумків уроку	
1 хв		Домашнє завдання Читати § 15 на с. 96 № 15.2	

ХІД УРОКУ

I. ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ МОМЕНТ

II. АКТУАЛІЗАЦІЯ ОПОРНИХ ЗНАНЬ УЧНІВ

1. Що таке планета? Які планети Сонячної системи ви знаєте?
2. У чому полягає відмінність між планетами земної групи та планетами-гігантами?
3. Що таке супутники планет? Які їхні основні характеристики? Чим вони відрізняються від характеристик планет?
4. Дайте визначення понять «Сонячна система», «планета», «супутник планети».
5. Які особливості планет земної групи? Що є спільним між планетами земної групи?

III. ПОЯСНЕННЯ НОВОГО МАТЕРІАЛУ

Урок з даної теми також можна провести у вигляді рольової гри «Космічна подорож до планет Сонячної системи».

Учні готують повідомлення за однією із запропонованих тем (див. нижче). Вони збирають повну інформацію про історію ви-

вчення даних планет, методи вивчення фізичних характеристик цих планет (кожна група готує одну тему), а також заздалегідь готують питання за матеріалом, який опрацює інша група.

*Земля — колиска розуму, але ж не
можна вічно жити в колисці.*

К. Е. Ціолковський

Орієнтовний план повідомлення

1. Група, до якої належить планета.
2. Розмір і маса планети.
3. Відстань планети від Сонця.
4. Період її обертання та звернення.
5. Характеристика атмосфери.
6. Температурні умови.
7. Рельєф (для планет земної групи).
8. Число та характеристики супутників.
9. Цікаві подробиці про планету.

Подібність та відмінність планет-гігантів

	Подібність	Відмінність
Загальні властивості		
Атмосфера		
Поверхня		

Планета	Рух	Температура, тиск	Рельєф	Атмосфера	Магнітне поле
Юпітер					
Сатурн					
Уран					
Нептун					

Опрацюючи інформацію про планети-гіганти, учні заповнюють таблиці.

Теми повідомлень

1. Юпітер — найбільша планета Сонячної системи.
2. Сатурн та його кільця.
3. «Лежачи на боці».
4. Нептун та його супутники.

За наявності доступу до мережі Інтернет можна запропонувати учням знайти інформацію, яку вони повинні узагальнити в табли-

ці. Використовуючи отриману інформацію, учні роблять висновки про планети-гіганти, їх відмінність від планет земної групи.

Якщо на уроці немає можливості доступу до мережі Інтернет, адреси сайтів можна запропонувати учням заздалегідь, а на занятті підбити підсумки роботи стосовно пошуку потрібної інформації.

	Планети земної групи	Планети-гіганти
Маса планети		
Розмір (радіус)		
Періоди обертання навколо осі		
Кількість супутників		
Густина		
Тверда оболонка		
Хімічний склад твердої оболонки		
Середня молекулярна маса атмосфери		
Місце розташування в Сонячній системі		
Ефективна температура		
Магнітні поля		

Адреси сайтів для пошуку інформації

Юпітер	Адреса
Велика червона пляма	www.iki.rssi.ru/nineplanets/jupiter.html
Смуги і зони в атмосфері планети	www.iki.rssi.ru/nineplanets/jupiter.html
Спостереження. «Галілео»	www.jpl.nasa.gov/galileo/hstimages.html
Супутники Юпітера	www.iki.rssi.ru/nineplanets/jupiter.html
Кільця Юпітера	www.jpl.nasa.gov/galileo/callisto/p48188.html
Комета Шумейкера—Леві	www.iki.rssi.ru/nineplanets/jupiter.html
Плями в атмосфері Юпітера	www.antwrp.gsfc.nasa.gov/apod/ap020205.html

Юпітер	Адреса
Супутник Юпитера Io	www.antwrp.gsfc.nasa.gov/apod/image/0110/IoNewVolcano_galileo.jpg
Рентгенівські спалахи на полюсах Юпітера	www.pioner.smr.ru/distance/planet.html

Сатурн	Адреса
Кільця	www.iki.rssi.ru/nineplanets/saturn.html
Стиснення біля полюсів планети через швидке обертання	www.iki.rssi.ru/nineplanets/saturn.html
Система кілець Сатурна	www.iki.rssi.ru/nineplanets/saturn.html
Щілина Кассіні	www.iki.rssi.ru/nineplanets/saturn.html
Полярні саява	www.antwrp.gsfc.nasa.gov/apod/ap011223.html
Зміна нахилу кілець Сатурна	www.antwrp.gsfc.nasa.gov/apod/ap010702.html

Уран	Адреса
Загальні відомості	www.iki.rssi.ru/nineplanets/uranus.html
Фізичні характеристики	www.photojournal.jpl.nasa.gov/cgi-bin/PIAGenPlanetPage.pl?Uranus
Обертання Урана	www.photojournal.jpl.nasa.gov/cgi-bin/PIAGenCatalogPage.pl?PIA01278
Обертання Урана	www.photojournal.jpl.nasa.gov/cgi-bin/uncgi/PIADBSearch.pl

Нептун	Адреса
Блакитна планета	www.iki.rssi.ru/nineplanets/neptune.html
Велика Темна Пляма	www.iki.rssi.ru/nineplanets/neptune.html
Фізичні характеристики	www.iki.rssi.ru/nineplanets/neptune.html
Атмосфера Нептуна	www.iki.rssi.ru/nineplanets/neptune.html
Загальна інформація	www.photojournal.jpl.nasa.gov/cgi-bin/PIAGenPlanetPage.pl?Neptune
Інфрачервоне зображення Нептуна	www.pioner.smr.ru/distance/neptune.html

Можливі відповіді

	Планети земної групи	Планети-гіганти
Маса планет	Порівняння з масою Землі	Значно більша за масу Землі
Розміри (радіус)	Менше від Землі	Значно більші за земний
Періоди обертання навколо осі	У Землі і Марса приблизно 1 доба, Венера і Меркурій значно більше	Обертаються значно швидше за Землю
Кількість супутників	Від 0 до 2 у Марса	Значна кількість супутників
Густина	$\rho = 4000 \dots 5500 \text{ кг/м}^3$	Значно менше густини планет земної групи, від $\rho = 1330 \text{ кг/м}^3$ до 700 кг/м^3 у Сатурна
Тверда оболонка	Є	Немає
Хімічний склад твердої оболонки	Залізо (34,6 %), кисень (30 %), кремній (15 %), магній (13 %). Найбільш поширені сполуки в корі — оксиди кремнію	Немає
Атмосфера	Значні атмосфери мають Венера, Земля; Меркурій має атмосферу малої густини	Дуже густа
Хімічний склад	На Землі 78 % азоту і 21 % кисню; на Венері — 96,5% вуглецю; на Марсі — 95 % вуглецю	Практично із водню та гелію
Середня молекулярна маса атмосфери	На Землі біля $28,8 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$. на Венері і Марсі $43,5 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$	$2,3 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$ у Юпітера, що на порядок менше
Місце розташування у Сонячній системі	Планети, найближчі до Сонця	Далі, ніж планети земної групи
Відстань від Сонця	Від 0,4 а. о. — Меркурій до 1,5 а.о. — Марс	Від 5,2 а. о. — Юпітера до 39 а. о. — Плутона

	Планети земної групи	Планети-гіганти
Ефективна температура	Від 435 К у Меркурія до 216 К у Марса	Від 134 К у Юпітера до 32 К у Нептуна
Магнітні поля	Земля має сильне магнітне поле, Меркурій, Марс — слабкі	Сильні магнітні поля у Юпітера, Сатурна з протяжними радіаційними поясами

1. Загальні відомості про планети-гіганти

До планет-гігантів Сонячної системи належать Юпітер, Сатурн, Уран і Нептун, що розташовані за межами кільця малих планет. Порівняно з планетами земної групи (внутрішніми) вони мають великі розміри й маси, унаслідок чого в їхніх надрах тиск значно вищий, більш низька середня густина, що наближається до середньої Сонячної — $1,43 \text{ г/см}^3$, швидке обертання і велика кількість супутників.

Дуже низька середня густина і специфічний хімічний склад їхніх атмосфер свідчать про те, що вони складаються з речовини, подібної до сонячної, тобто здебільшого з водню і гелію. Значний тепловий потік, що виходить з Юпітера, указує на високу температуру в його надрах — до 20 тис. градусів. Такий потік тепла свідчить про існування в надрах Юпітера і Сатурна конвективного перемішування тепла. У надрах панує колосальний тиск, що набагато перевищує 2,5 млн бар, за якого молекулярний водень переходить до металевої фази і цілком подібний до лужних металів. Чи перебуває він у рідкому чи газоподібному стані — важко сказати, тому що температура відома недостатньо точно. Слід, однак, вважати, що металеве ядро Юпітера рідке, в іншому випадку важко було б пояснити існування в Юпітера потужного магнітного поля, значно потужнішого, ніж у Землі. Подібну з Юпітером структуру має Сатурн. Більш густі Уран і Нептун містять, очевидно, значно більше гелію. У цих планет температура нижче, так що біля їхнього центра, можливо, наявні ядра, що складаються із суміші льоду і сполук, що містять водень, кисень, вуглець, азот, сірку й ін.

Юпітер

Юпітер — п'ята за віддаленням від Сонця і перша за величиною планета Сонячної системи. Планета відома з античних часів і названа на честь давньоримського бога Юпітера, аналога давньогрецького Зевса. Належить до типу газових гігантів.

Параметри планети

Юпітер — найбільша планета Сонячної системи. Його екваторіальний радіус дорівнює 71,4 тис. км, що в 11,2 раза перевищує радіус Землі. Під час спостереження Юпітера в телескоп із 40-кратним збільшенням його кутові розміри відповідають розмірам Місяця, що спостерігається неозброєним оком.

Маса Юпітера більш ніж удвічі перевищує сумарну масу всіх інших планет, у 318 разів — масу Землі і всього в 1000 разів менше від маси Сонця. Якби Юпітер був приблизно в 70 разів масивніше, він міг би стати зорею. Густина Юпітера приблизно дорівнює густині Сонця і значно поступається густині Землі.

Екваторіальна площа планети близька до площини її орбіти, тому на Юпітері не буває змін пір року.

Юпітер обертається навколо своєї осі, причому не як тверде тіло: кутова швидкість обертання зменшується від екватора до полюсів. На екваторі доба триває близько 9 год 50 хв. Юпітер обертається швидше, ніж будь-яка інша планета Сонячної системи. Унаслідок швидкого обертання полярний стиск Юпітера дуже помітний: полярний радіус менший від екваторіального на 4,6 тис. км (тобто на 6,5 %).

Усе, що ми можемо спостерігати на Юпітері, — це хмари верхнього шару атмосфери. Гігантська планета складається переважно з газу і не має звичної нам твердої поверхні.

Юпітер виділяє в 2–3 рази більше енергії, ніж одержує від Сонця. Це може пояснюватися поступовим стиском планети, опусканням гелію і більш важких елементів або процесами радіоактивного розпаду в надрах планети.

Внутрішня будова

Юпітер складається переважно з водню і гелію. Під хмарами знаходиться шар глибиною 7–25 тис. км, у якому водень поступово змінює свій стан від газу до рідини зі збільшенням тиску і температури (до 6000°C). Чіткої границі, що відокремлює газоподібний водень від рідкого, очевидно, не існує. Це має виглядати як безупинне кипіння глобального водневого океану.

Під рідким воднем знаходиться шар металевого водню завтовшки, відповідно до теоретичних моделей, близько 30–50 тис. км. Рідкий металевий водень формується під тиском у кілька мільйонів атмосфер. Протони й електрони в ньому існують роздільно, і він є гарним провідником електрики. Потужні електроструми, що ви-

никають у шарі металевого водню, породжують гігантське магнітне поле Юпітера.

Учені вважають, що Юпітер має ядро, яке складається з важких елементів (більш важких, ніж гелій). Його розміри — 15–30 тис. км у діаметрі, ядро має високу густину. За теоретичними розрахунками, температура ядра планети — близько 30 000 °C а тиск — 30–100 млн атмосфер.

Атмосфера

Атмосфера Юпітера складається з водню (81 % за кількістю атомів і 75 % за масою) і гелію (18 % за кількістю атомів і 24 % за масою). На частку інших речовин припадає не більше 1 %. В атмосфері наявні метан, водяна пара, аміак; є також сліди органічних сполук, етану, сірководню, неону, кисню, фосфіну, сірки. Зовнішні шари атмосфери містять кристали замороженого аміаку.

Червонуваті варіації кольору Юпітера можуть пояснюватися наявністю сполук фосфору, сірки і вуглецю. Оскільки колір може сильно варіюватися, отже, хімічний склад атмосфери також різний у різних місцях. Наприклад, існують «сухі» і «мокрі» області із різним вмістом водної пари.

Температура зовнішнього шару хмар — близько 130 °C, однак із глибиною швидко зростає. За даними спускного апарата «Галілео» на глибині 130 км температура дорівнює 150 °C, тиск — 24 атм. Тиск біля верхньої границі хмарного шару — близько 1 атм, тобто як біля поверхні Землі. «Галілео» знайшов «теплі плями» уздовж екватора. Очевидно, у цих місцях шар зовнішніх хмар тонкий, тож можна бачити більш теплі внутрішні області.

Швидкість вітрів на Юпітері може перевищувати 600 км/год. Циркуляція атмосфери визначається двома основними факторами. По-перше, обертання Юпітера в екваторіальних і полярних областях неоднакове, тому атмосферні структури витягаються в смуги, що оперізують планету. По-друге, відбувається температурна циркуляція за рахунок тепла, що виділяється з надр.

В атмосфері Юпітера спостерігаються блискавки, потужність яких на три порядки перевищує земні, а також полярні саява. Крім того, орбітальним телескопом «Чандра» виявлено джерело пульсуючого рентгенівського випромінювання (назване Великою рентгенівською плямою), причини якого є поки не з'ясованими.

Велика червона пляма

Велика червона пляма — овальне утворення змінюваних розмірів, розташоване в південній тропічній зоні. На сьогодні вона має розміри 15 × 30 тис. км (значно більші за розміри Землі), а 100 років тому спостерігачі відзначали вдвічі більші розміри. Іноді її не дуже чітко видно. Велика червона пляма — це унікальний довгоживучий гігантський ураган (антициклон), речовина в якому обертається проти годинникової стрілки і робить повний оберт за 6 земних діб. Вона характеризується висхідними плинами в атмосфері. Хмари в ній розташовані вище, а температура їх нижче, ніж у сусідніх областях.

Магнітне поле і магнітосфера

Юпітер має потужне магнітне поле; вісь диполя нахилена до осі обертання на 10°. Напруженість поля на рівні видимої поверхні хмар дорівнює 14 Е біля північного полюса і 10,7 Е — біля південного. Його полярність обернена до полярності земного магнітного поля.

Існування магнітного поля пояснюється наявністю в надрах Юпітера металевого водню, що, будучи гарним провідником й обертаючись із великою швидкістю, створює магнітні поля.

Юпітер оточений потужною магнітосферою, що на денній стороні тягнеться до відстані в 50–100 радіусів планети, а на нічній стороні простягається за орбіту Сатурна. Прискорені в магнітосфері Юпітера електрони досягають Землі. Якби магнітосферу Юпітера можна було б бачити з поверхні Землі, то її кутові розміри перевищували б розміри Місяця.

Магнітосфера формується переважно за рахунок потоків заряджених частинок, що виносяться магнітним полем планети з плазмового тора навколо орбіти Іо. Джерелом частинок є вулкани Іо. Магнітосфера формується також за рахунок частинок сонячного вітру.

Юпітер має потужні радіаційні пояси. Зблизившись із Юпітером, «Галілео» дістав дозу радіації, що у 25 разів перевищувала смертельну дозу для людини. Радіовипромінювання радіаційного пояса Юпітера вперше було виявлено 1955 р. Радіовипромінювання має синхротронний характер.

Юпітер оточений іоносферою завдовжки 3000 км.

Як і полярні саява на Землі, полярні саява на Юпітері обумовлені стіканням заряджених частинок уздовж ліній магнітного поля в атмосферу в районі Північного і Південного полюсів планети. Од-

нак магнітне поле Юпітера дуже велике, тому викинута з вулканічного супутника Іо іонізована речовина, що уловлюється магнітним полем Юпітера, створює саява в тисячу разів інтенсивніші, ніж на Землі.

Супутники і кільця

У Юпітера нараховується 63 супутники, що є максимальним показником для Сонячної системи. За оцінками учених, супутників може бути не менше сотні. Чотири найбільших супутники — Іо, Європа, Ганімед і Каллісто — було відкрито ще 1610 р. Галілео Галілеєм. Найбільший інтерес становить Європа, що має глобальний океан, у якому не виключено наявність життя. Усі великі супутники Юпітера обертаються синхронно і завжди повернуті до Юпітера однією і тією ж стороною унаслідок впливу потужних припливних сил планети-гіганта. Інші супутники набагато менші і являють собою скелясті тіла неправильної форми. Серед них є ті, що обертаються у зворотний бік.

У Юпітера наявні слабкі кільця, виявлені 1979 року під час проходження повз Юпітера «Вояджера-1». Із Землі кільця можуть бути помічені в інфрачервоному діапазоні. За результатами досліджень «Галілео» було зроблено висновок, що джерелом поповнення кілець є невеликі супутники Юпітера.

Дослідження Юпітера космічними апаратами

Юпітер вивчали винятково апарати НАСА.

1973 і 1974 рр. повз Юпітера пройшли «Піонер-10» і «Піонер-11» на відстані (від хмар) 132 тис. км і 43 тис. км відповідно. Апарати передали кілька сотень знімків (невисокої роздільності) планети і галілеєвих супутників, уперше виміряли основні параметри магнітного поля і магнітосфери Юпітера.

1979 р. біля Юпітера пролетіли «Вояджери» (на відстані 207 тис. км і 570 тис. км). Апарати передали велику кількість докладних знімків планети та її супутників, а також багато інших цінних даних (зокрема були виявлені кільця Юпітера).

1992 р. повз планету пройшов «Улісс» на відстані 900 тис. км. Апарат здійснив виміри магнітосфери Юпітера («Улісс» призначений для вивчення Сонця і не має фотокамер).

З 1995 по 2003 рр. на орбіті Юпітера знаходився «Галілео». за допомогою цієї місії було отримано безліч нових даних. Зокрема, спускний апарат уперше вивчив атмосферу газової планети зсередини.

2000 р. повз Юпітера пролетів «Кассіні». Він зробив низку знімків планети з рекордною роздільністю й одержав нові дані про плазменний тор Іо. За знімками «Кассіні» були складені найдетальніші на сьогоднішній день кольорові «карти» Юпітера, на яких розмір найдрібніших деталей складає 120 км. Крім того, було поставлено унікальний експеримент з вимірювання магнітного поля планети одночасно з двох точок («Кассіні» і «Галілео»).

28 лютого 2007 р. на шляху до Плутона в околицях Юпітера зробив гравітаційний маневр апарат «Нові обрії».

У 2020-х роках планується здійснення міжпланетної місії з вивчення галілеєвих супутників.

Життя на Юпітері

На сьогодні наявність життя на Юпітері через низьку концентрацію води в атмосфері і за умови відсутності твердої поверхні видається малоймовірним. У 1970-х роках Карл Саган висловлювався з приводу можливості існування у верхніх шарах атмосфери Юпітера життя на основі аміаку. Слід зазначити, що навіть на незначній глибині в юпітеріанській атмосфері температура і густина досить високі, тож можливість принаймні хімічної еволюції виключати не можна, оскільки швидкість та імовірність протікання хімічних реакцій сприяють цьому.

У липні 1992 року до Юпітера наблизилася комета. Вона пройшла на відстані близько 15 тисяч кілометрів від верхньої границі хмар, і потужний гравітаційний вплив планети-гіганта розірвав її ядро на 17 великих частин. Цей кометний рій було виявлено в обсерваторії Маунт-Паломар подружжям Керолайн і Юджином Шумейкерами й астрономом-аматором Девідом Леві. 1994 року, після наступного зближення з Юпітером, всі уламки комети урізалися в атмосферу планети з величезною швидкістю — близько 64 км/с. Цей грандіозний космічний катаклізм спостерігався як із Землі, так і за допомогою космічних засобів, зокрема за допомогою космічного телескопа «Хаббл», інфрачервоного супутника IUE і міжпланетної космічної станції «Галілео». Падіння ядер супроводжувалося цікавими атмосферними ефектами, наприклад полярними саявами, чорними плямами в місцях падіння ядер комети, кліматичними змінами.

Сатурн

Сатурн — шоста за віддаленням від Сонця і друга за розміром і масою планета Сонячної системи.

Сатурн знаходиться на середній відстані 1429 млн км (9,58 а. о.) від Сонця. Період обертання — 29,46 року.

У Сатурна близько 60 супутників і найбільш потужна система кілець серед усіх планет Сонячної системи.

Загальні відомості

Екваторіальний радіус планети дорівнює 60 300 км, полярний радіус — 54 000 км; Сатурн — найбільш сплюснена планета Сонячної системи. Маса планети в 95 разів перевищує масу Землі, однак середня густина Сатурна становить усього 0,69 г/см³. Сатурн є найбільш розрідженою планетою Сонячної системи і єдиною планетою, чия густина (середня) менша за густину води.

Один оберт навколо осі Сатурн робить за 10 годин і 39 хвилин.

Атмосфера

Верхні шари атмосфери Сатурна складаються на 93 % з водню (за об'ємом) і на 7 % — з гелію (порівняно з 11 % в атмосфері Юпітера). У ній містяться домішки метану, водяної пари, аміаку і деяких інших газів. Аміачні хмари у верхній частині атмосфери потужніші за юпітеріанські.

За даними «Вояджерів», на Сатурні дмуть найдужчі вітри в Сонячній системі. Апарати зареєстрували швидкості повітряних потоків 500 м/с. Вітри дмуть переважно у східному напрямку (у напрямку осевого обертання). Їхня сила слабшає з віддаленням від екватора; чимдалі від екватора з'являються також західні атмосферні плинні. Низка даних указують, що вітри не обмежені шаром верхніх хмар, вони повинні поширюватися усередину, принаймні, на 2 тис. км. Крім того, виміри «Вояджера-2» показали, що вітри в південній і північній півкулях симетричні відносно екватора. Є припущення, що симетричні потоки якимось зв'язані під шаром видимої атмосфери.

В атмосфері Сатурна іноді з'являються стійкі утворення, що являють собою надпотужні урагани. Аналогічні об'єкти спостерігаються і на інших газових планетах Сонячної системи (див. Велика червона пляма на Юпітері, Велика темна пляма на Нептуні). Гігантський «Великий білий овал» з'являється на Сатурні приблизно один раз у 30 років, востаннє він спостерігався 1990 року (менш великі урагани утворюються частіше).

Не до кінця зрозумілим на сьогоднішній день залишається такий атмосферний феномен Сатурна, як «Гігантський гексагон». Він являє собою стійке утворення у вигляді правильного шести-

кутника з поперечником 25 тис. км, що оточує Північний полюс Сатурна.

В атмосфері виявлені потужні грозові розряди, полярні сяйва, ультрафіолетове випромінювання водню.

У глибині атмосфери Сатурна підвищуються тиск і температура і водень поступово переходить у рідкий стан. На глибині близько 30 тис. км водень стає металевим (а тиск досягає близько 3 млн атм). Циркуляція електрострумів у металевому водні створює магнітне поле (набагато менш потужне, ніж у Юпітера). У центрі планети знаходиться масивне ядро з важких матеріалів.

Дослідження Сатурна

Сатурн — одна з п'яти планет Сонячної системи, яку легко бачити неозброєним оком із Землі. У максимумі блиск Сатурна перевищує першу зоряну величину.

Уперше спостерігаючи Сатурн через телескоп у 1609–1610 рр., Галілео Галілей помітив, що Сатурн виглядає не як єдине небесне тіло, а як три тіла, що майже торкаються одне одного, і висловив припущення, що це два великих «компаньйони» (супутники) Сатурна. Два роки потому Галілей повторив спостереження і, на своє здивування, не знайшов супутників.

1659 року Гюйгенс за допомогою більш потужного телескопа з'ясував, що «компаньйони» — це насправді тонке плоске кільце, що оперізує планету і не торкається її. Гюйгенс також відкрив найбільший супутник Сатурна — Титан. Починаючи з 1675 року вивченням планети займався Кассіні. Він помітив, що кільце складається з двох кілець, розділених чітко видимим зазором — щілиною Кассіні, і відкрив ще кілька великих супутників Сатурна.

1979 року космічний апарат «Піонер-11» уперше пролетів поблизу Сатурна, а в 1980 і 1981 роках за ним пішли апарати «Вояджер-1» і «Вояджер-2». Ці апарати вперше знайшли магнітне поле Сатурна і, досліджуючи його магнітосферу, спостерігали шторми в атмосфері Сатурна, одержали детальні знімки структури кілець і з'ясували їхній склад.

У 1990-х роках Сатурн, його супутники і кільця неодноразово досліджував космічний телескоп Хаббл. Довгострокові спостереження дали чимало нової інформації, що була недоступна для «Піонера-11» і «Вояджерів» під час їх однократного прольоту повз планету.

1997 року до Сатурна було запущено апарат Кассіні — Гюйгенс, і через сім років польоту, 1 липня 2004 року, він досяг системи Са-

турна і вийшов на орбіту навколо планети. Основними задачами цієї місії, розрахованої мінімум на 4 роки, є вивчення структури і динаміки кілець і супутників, а також вивчення динаміки атмосфери і магнітосфери Сатурна. Крім того, спеціальний зонд «Гюйгенс» відокремився від апарата і на парашуті спустився на поверхню супутника Сатурна Титана.

Супутники

На липень 2007 р. відомо 60 супутників Сатурна. 12 з них відкриті за допомогою космічних апаратів: «Вояджер-1» (1980 рік), «Вояджер-2» (1990 рік), «Кассіні» (2004–2007 рр.).

Протягом 2006 р. команда вчених під керівництвом Девіда Джуїтта з Гавайського університету, що працюють на японському телескопі Субару на Гавайях, повідомляла про відкриття 9 супутників Сатурна.

Усі вони належать до так званих іррегулярних супутників, що відрізняються видовженими еліптичними орбітами, і, як вважають, не сформувалися разом із планетами, а захоплені їх гравітаційним полем.

Усього з 2004 року команда Джуїтта знайшла 21 супутник Сатурна.

Найбільший із супутників — Титан. Учені припускають, що умови на цій планеті схожі з тими, котрі існували на нашій планеті 4 мільярди років тому, коли на Землі тільки зароджувалося життя.

Сатурн має найпотужнішу систему кілець у Сонячній системі. Краї кільцевої системи знаходяться на відстані 6,6 тис. і 121 тис. км від екватора планети. Кільця складаються з частинок розміром від декількох мікронів до десятків метрів, до складу яких входять лід, кам'яні породи, оксид заліза.

Природа кілець Сатурна стала зрозумілою після того, як англійський фізик Дж. Максвелл (у 1859 р.) і російський математик С. В. Ковалевська (у 1885 р.) різними методами довели, що існування кілець навколо планети може бути стійким тільки в тому випадку, якщо воно складається із сукупності окремих малих тіл: суцільне тверде чи рідке кільце було б розірване силою притягання планети. Цей теоретичний висновок наприкінці XIX століття був емпірично підтверджений незалежно одним від одного А. А. Белопольським (Росія), Дж. Кілером (США) і А. Деландром (Франція), що сфотографували спектр Сатурна за допомогою щілинного спектрографа і на основі ефекту Доплера—Фізо встановили, що зовнішні частини кілець Сатурна обертаються повільніше, ніж внутрішні.

Протягом 29,5 року із Землі кільця Сатурна двічі видно в максимальному розкритті і двічі настають періоди, коли Сонце і Земля знаходяться в площині кілець (тоді кільця або освітлює Сонце «з ребра», або воно видно для земного спостерігача «з ребра»). У цей період кільця майже зовсім не видні, що свідчить про їх дуже малу товщину. Різні дослідники, спираючись на візуальні і фотометричні спостереження і їх теоретичну обробку, доходять висновку, що середня товщина кілець складає від 10 см до 10 км. Звичайно, кільце такої товщини побачити із Землі «з ребра» неможливо. Розміри твердих тіл у кільцях оцінюють від 10^{-1} до 10^3 см із переважанням брил діаметром близько 1 м, що підтверджується і спостережуванним відбиттям радіохвиль від кілець Сатурна.

Хімічний склад речовини кілець, очевидно, однаковий у всіх чотирьох складових, різний у них тільки ступінь заповнення простору брилами. Спектр кілець Сатурна істотно відмінний від спектра самого Сатурна і Сонця, що освітлює їх; спектр указує на підвищену відбивну здатність кілець у ближній інфрачервоній області (2,1 і 1,5 мкм), що відповідає відбиттю від льоду H_2O . Можна вважати, що тіла, які утворюють кільця Сатурна, або покриті льодом чи інеєм, або складаються з льоду. В останньому випадку масу всіх кілець можна оцінити в 1024 м, тобто на 5 порядків менше від маси власне планети. Температура кілець Сатурна, очевидно, близька до рівноважної, тобто до 80 К.

За останніми даними, кільця Сатурна швидко еволюціонують. Під час порівняння знімків «Кассіні» і «Вояджерів» були виявлені істотні зміни, наприклад кільце В стало більш тьмяним.

Уран

Уран — сьома за віддаленням від Сонця і третя за величиною планета Сонячної системи. Уран є газовим гігантом, аналогічно до Юпітера Сатурна і Нептуна. Його було названо на честь давньогрецького бога Урана.

Склад

Уміст водню складає 83 %, гелію — 15%, метану — 1,99 %. Також виявлені сліди аміаку, етану й ацетилену. Уран і Нептун багато в чому схожі на ядро Юпітера або Сатурна без масивної оболонки з рідкого металевого водню. Зважаючи на це, в Урана немає чітко вираженого ядра, і його речовина розподілена більш-менш рівномірно. Блакитний колір планети пояснюється поглинанням червоного світла атмосферним метаном.

Нахил осі

Однією з відмітних ознак Урана є нахил його осі, що складає майже 90° . Тому впродовж частини орбіти один з полюсів Урана спрямований майже точно на Сонце, а інший — навпаки, від Сонця. У протилежній частині орбіти орієнтація полюсів відносно Сонця міняється на зворотну, а на ділянках між цими екстремумами Сонце «обертається» навколо екватора планети, як на інших планетах.

Коли «Вояджер-2» пролітав 1986 р. повз планету, її південний полюс саме був спрямований майже точно на Сонце. Правда, назви «південний» і «північний» для Урана не очевидні. Про нього можна сказати, що нахил його осі трохи перевищує 90° або що нахил ледве менше 90° , а Уран обертається у зворотному, відносно інших планет, напрямку. Ці два описи еквівалентні з фізичної точки зору, але дають різну орієнтацію полюсів: полюс, що є північним за одним з описів, стає південним за іншим, і навпаки.

Одним із результатів незвичайного нахилу осі є те, що полярні райони Урана одержують більше сонячної енергії, ніж екваторіальні. Правда, з невідомих причин температура в області екватора Урана все одно вища, ніж біля полюсів. Чому нахил осі настільки великий, також невідомо. Можливо, коли Уран ще тільки формувався, він зіштовхнувся з іншою планетою, що також перебувала в стадії формування.

Схоже, що великий нахил осі обертання також спричиняє величезні сезонні зміни в погоді. Під час пролітання «Вояджера-2» смуги хмарності були дуже темними, практично непомітними. Недавні спостереження за допомогою орбітального телескопа Хаббла показали набагато більш виражену «смугастість» Урана. Це, імовірно, пов'язане з тим, що Сонце на небокраї Урана знаходилося майже над екватором. 2007 року Сонце було точно над екватором Урана.

Магнітне поле

Магнітне поле Урана цікаве тим, що його центр не збігається з центром планети, а його вісь повернена майже на 60° відносно осі обертання. Очевидно, воно генерується рухом заряджених частинок на порівняно невеликій глибині. Магнітне поле Нептуна має подібне зміщення відносно геометричного центра планети, так що це навряд чи пов'язано з великим нахилом осі обертання. Джерело магнітного поля Урана невідоме. Раніше передбачалося, що між центром і атмосферою Урана існує надгустий водно-аміачний океан, що добре проводить електрику, але, зважаючи на всі дані, це неправильна думка.

Відкриття і дослідження Урана

Уран — перша планета, відкрита вже за Нового часу. До свого відкриття її неодноразово спостерігали різні астрономи, але щораз її вважали просто ще однією зорею. Найбільш раннє документоване спостереження припадає на 1690 р., коли Джон Флемстид заніс Уран до свого каталогу як зорю 34 Тільця.

Як планету Уран було відкрито сером Вільямом Гершелем 1781 р. Гершель дав планеті назву *Georgium Sidus* («зоря Георга») на честь Георга III, короля Англії. Ця назва не прижилася за межами Англії. Французький астроном Ж. Лаланд називав планету Гершель, а німець Йоганн Боде запропонував сучасну назву — Уран на честь давньогрецького бога.

Судячи з перших видань «Щомісячних записок Королівського астрономічного співтовариства» від 1827 р., назва «Уран» уже тоді була найбільш поширеною навіть в Англії. Хоча й першу назву, *Georgium Sidus*, зрідка ще продовжували використовувати.

«Вояджер-2», запущений у 1977 р. NASA, — поки єдиний космічний апарат, що побував поблизу Урана. 24 січня 1986 р. «Вояджер» був на мінімальній відстані від Урана. Потім він продовжив політ у напрямку до Нептуна.

Супутники Урана

Усього відомо 27 супутників Урана. Чотири найбільших з них — це Титанія, Оберон, Аріель і Умбріель.

Кільця Урана

Уран має слабкі, майже непомітні, планетарні кільця, що складаються з невітлових частинок матерії до 10 м у діаметрі. Перші кільця Урана було виявлено в березні 1977 року Джеймсом Елліотом, Едвардом Данхемом і Дугласом Мінком. Існує також думка, що честь відкриття кілець належить серу Вільямові Гершелю, який спостерігав їх ще 1789 року.

На сьогодні відомі 13 його кілець, що є деяким «рекордом» у Сонячній системі.

Нептун

Нептун — восьма за віддаленістю від Сонця планета Сонячної системи. Планета була відкрита 1846 року і названа на ім'я бога морів у римській міфології. Символ планети Нептуна — стилізований тризубець, що, у свою чергу, є символом міфічного морського бога Нептуна.

Історія відкриття

Уночі 23 вересня 1846 Йоганн Галлі (*Johann Gottfried Galle*) і Гейнріх Д'Арре (*Heinrich Louis d'Arrest*), проводячи спостереження на обсерваторії в Берліні, знайшли планету усього в одному градусі від положення, обчисленого 1846 року французьким астрономом Урбенем Левер'є на підставі даних про невеликі збурювання в русі Урана. Дещо менш точно пророкування англійського астронома Джона Адамса (*John Couch Adams*), зроблене роком раніш, зустріло в Англії необґрунтований скептицизм і було опубліковано тільки після відкриття планети. Незважаючи на це, англійці розгорнули запеклі суперечки про національний пріоритет і про те, як слід назвати планету. Зрештою, планета одержала назву Нептун на ім'я бога моря римської міфології, що запропонував Левер'є відразу ж після відкриття. Цікаво, що розрахована Левер'є й Адамсом орбіта Нептуна дуже швидко відхилялася від реальної орбіти планети, і якби пошуки затяглися на кілька років, то за цими обчисленнями виявити планету вже було б неможливо.

Дослідження

На найкращих фотографіях, зроблених із Землі, можна розрізнити окремі яскраві хмари і яскравий серпанок над південним полюсом планети. Космічний апарат «Вояджер-2» підтвердив ці спостереження, коли пройшов усього в 5000 км над верхівками хмар планети 25 серпня 1989 року. Крім того, він знайшов багато нових деталей, у тому числі велику циклонічну систему в південній півкулі — Велику темну пляму. До 1994 р. ця система розпалася, а космічний телескоп ім. Хаббла знайшов нову Велику темну пляму в північній півкулі.

«Вояджер-2» також виявив меншу циклонічну систему з яскравим ядром з пір'ястих хмар, добре помітну систему смуг і численні тонкі пір'ясті хмари. Також була виявлена маленька яскрава хмара неправильної форми, що робить один оберт за 16 годин. Вона дістала назву «Скутер» і може бути верхівкою викиду з нижніх шарів атмосфери. Деякі з цих деталей відкидають тіні на більш глибокі шари хмар. Це були перші дані про вертикальне розшарування атмосфери Нептуна. Високі хмари, що знаходяться на 50–100 км вище від основного шару, імовірно, складаються з кристалів метану, а більш низький і безупинний рівень утворений кристалами аміаку або сульфиду водню. Пір'ясті хмари швидко змінюються, часто утворюються і зникають усього за кілька годин. Таким чином, погода на Нептуні динамічна й мінлива, як і на Землі.

Астрономічні дані

Орбіта Нептуна чи не найбільше наближена до кола. Її велика піввісь дорівнює 4504,3 млн км при ексцентриситеті усього 0,0086. Відстань Нептуна до Сонця змінюється в межах 29,8–30,4 а. о. Нахилення орбіти до площини екліптики дорівнює $1^{\circ}46'$. Період обертання планети навколо Сонця дорівнює 164,79 року.

Максимальна зоряна величина Нептуна на земному небі дорівнює 7,8, тобто він приблизно в п'ять разів слабкіше за найслабші зірки, видимі неозброєним оком. У великі телескопи він схожий на маленький блакитнуватий диск діаметром 2,3 кутової секунди.

Фізичні характеристики

У Нептуна, як і в інших планет-гігантів, немає твердої поверхні, тому за рівень відліку під час вимірювання розмірів планети приймається рівень атмосфери, на якому тиск складає 1 бар. Екваторіальний діаметр Нептуна дорівнює 49 528 км, полярний — 48 680 км; його маса — $1,02 \cdot 10^{26}$ кг — перевершує земну в 17,14 раза. Таким чином, ця планета небагато менше і важча за Уран. Середня густина Нептуна — $1,76 \text{ г/см}^3$.

Атмосфера Нептуна на 98 % складається з водню і гелію. У ній міститься також 2,5–3 % метану. Пір'ясті хмари в атмосфері Нептуна, швидше за все, складаються з кристалів замерзлого метану. Сильні лінії поглинання метану, що домінують у спектрі планети, додають Нептунові інтенсивного синього кольору. У спектрі виявлені також сліди молекулярного водню й етану. У мікрохвильовому діапазоні виявлено наявність незначних кількостей аміаку.

Температура в атмосфері Нептуна змінюється з глибиною. На рівні 0,1 бар температура мінімальна — 50 К. Вище температура зростає, досягаючи 750 К на висоті 2000 км (за тиску 10–11 бар), і далі залишається сталою. Також температура росте до центра планети, де очікуються значення температури в 7000 К і тиск у $5 \cdot 10^6$ бар. На рівні 1 бар температура атмосфери дорівнює 74 К. З огляду на відстань планети до Сонця, очікувалося, що ефективна температура Нептуна становить близько 45 К, але виявилося, що вона дорівнює 59,3 К. Таким чином, на Нептуні частина тепла надходить із внутрішніх джерел.

Вісь обертання Нептуна нахилена до площини орбіти на $29^{\circ}34'$. Період обертання магнітного поля Нептуна, що, як вважають, пов'язаний з обертанням ядра планети, був визначений «Вояджером-2» і становить 16,11 години (16 годин 07 хвилин). Біль-

шість хмар обертаються з іншими періодами, що складають від 12 годин поблизу від південного полюса до 18 годин біля екватора. Це означає, що на Нептуні дмуть вітри зі швидкостями до 2400 км/год, напрямлені проти обертання планети. Це найдужчі вітри в Сонячній системі.

«Вояджер-2» встановив, що вісь магнітного поля Нептуна нахилена на 46° до осі обертання планети і зміщена від центра планети на відстань у 0,55 радіуса планети. У результаті напруженість магнітного поля сильно варіює по поверхні планети — від 0,1 гаусса у північній півкулі до 1 гаусса у південній. Є думка, що магнітне поле Нептуна породжує не ядро планети, а мантия, багата на аміак. Сильний нахил осі магнітного поля призводить до того, що траєкторії руху заряджених частинок у магнітосфері планети перетинають траєкторії руху супутників і кілець. У результаті переважну більшість заряджених частинок поглинають супутники і кільця, і їхня концентрація в магнітосфері зменшується. Крім того, «Вояджер» знайшов на Нептуні полярні сніжки, хоча і набагато слабші, ніж на Землі. Вони мають складний характер і поширюються на великих ділянках планети, а не тільки навколо магнітних полюсів.

Вважають, що Нептун має ядро з розплавлених скельних порід, оточене зовнішнім ядром з частково розплавленої суміші аміаку, води і метану, не розділеної на шари.

За даними на червень 2005 р., у Нептуна 13 супутників.

Кільця

До відліту «Вояджера-2» наявність у Нептуна кілець було предметом жвавої дискусії. Наземні спостереження дозволяли припустити, що навколо планети розташовані неправильні дуги. Знімки «Вояджера» показали, що навколо планети існують п'ять кілець: два яскравих і вузьких і три більш слабких. Деякі сектори зовнішнього яскравого кільця значно яскравіші, ніж інші, і саме вони були відкриті під час спостережень із Землі. Довжина таких дуг складає від 1000 до 10 000 км. Три найяскравіших з них одержали назви Воля, Рівність і Братерство. Яскраві кільця (1989N2R, Левер'є і 1989N1R, Адамс) розташовані на відстанях 53 тис. км і 63 тис. км. Внутрішнє яскраве кільце має ширину усього 15 км. Супутники Галатея і Деспина рухаються саме по внутрішньому краю 1989N1R і 1989N2R відповідно і, можливо, беруть участь у їх формуванні. Одне із широких кілець розташовано на відстані 42 тис. км (1989N3R, Галлі), друге — між яскравими кільцями

(1989N4R Лассель, Араго), і третє, очевидно, заповнює простір між внутрішнім широким кільцем і планетою. Кільця не відбивають радіохвиль, що вказує на відсутність у них частинок розміром понад сантиметр. Те, що кільця краще видні, якщо Сонце підсвічує їх позаду, вказує на перевагу пилоподібних частинок. Можливо, кільця складаються з метанового льоду, що потьмянів під дією випромінювання Сонця.

Цікаві факти

Галілей, спостерігаючи супутники Юпітера 28 грудня 1612 р. і 28 січня 1613 р., знайшов зміну відносного положення двох зір. Тільки через 366 років, 1979 р. з'ясувалося, що однією із цих «зір» був Нептун.

Карликові планети

Карликова планета — небесне тіло, що обертається безпосередньо навколо Сонця (тобто не є супутником іншої планети), має достатню масу, щоб гравітація надала їй гідростатично рівноважної форми, проте не розчистила околиці своєї орбіти від інших подібних тіл. Визначення було ухвалено Міжнародним астрономічним союзом 24 серпня 2006 року на розв'язання проблеми щодо з'ясування терміна «планета».

Історія

Питання класифікації виникло 2005 року, коли астроном Майк Браун разом із колегами відкрили у поясі Койпера об'єкт 2003 UB₃₁₃, за розмірами більший за Плутон. Якщо Плутон вважати планетою, то нове небесне тіло також мало отримати такий статус. Проте це викликало заперечення деяких астрономів, адже кількість планет у такому випадку мала значно збільшитися. Для вирішення питання Міжнародним астрономічним союзом було утворено окремий «Комітет визначення планети». Після вивчення питання та обговорення комітет запропонував визначення, згідно з яким планетою слід вважати небесне тіло, що обертається навколо Сонця та під дією власного тяжіння набуло гідростатично рівноважної (тобто близької до кулястої) форми. Його було подано на затвердження Генеральної Асамблеї МАС 16 серпня 2006 року. Відповідно до цього визначення кількість планет Сонячної системи мала збільшитися до дванадцяти.

Однак учасники асамблеї відхилили таку пропозицію. Дискусія тривала ще шість днів, і нарешті 24 серпня було ухвалено оста-

точне рішення, згідно з яким Плутон втратив статус планети. Його (разом із Церерою, Еридою, Макемаке та Хаумеа) було виділено до окремої категорії карликових планет.

На статус карликової планети також претендують такі об'єкти: Кваввар, Іксіон, Седна, Орк.

Термін «карликова планета» слід відрізняти від поняття «мала планета», як іноді називають астероїди. Офіційно термін «мала планета» більше не використовують, залишаючи його даниною історії.

IV. ЗАКРІПЛЕННЯ НОВОГО МАТЕРІАЛУ

1. Назвіть Галілеєві супутники Юпітера.
2. Що таке Велика червона пляма Юпітера?
3. Назвіть планети-гігантів у порядку убутання їхньої маси.
4. Яка з планет гігантів обертається лежачи на боку?
5. Яка з планет гігантів легше води?
6. У якої з планет-гігантів найбільше супутників?
7. З чого складаються кільця Сатурна?
8. Чому Уран і Нептун блакитного кольору?
9. Який найбільший супутник у Сонячній системі?

Запитання до учнів у ході викладу нового матеріалу

1. Порівняйте густину планет-гігантів з густиною відомих вам речовин.
2. Чи мають планети-гіганти тверду оболонку?
3. Які планети мають кільця?
4. Як змінюється період обертання навколо Сонця планет-гігантів порівняно з планетами земної групи?

Що ми дізналися на уроці

- Планети-гіганти — Юпітер, Сатурн, Уран, Нептун.
- Юпітер — наймасивніша планета Сонячної системи.
- Якби маса Юпітера збільшилася у 80 разів, у Сонячній системі було б дві зорі.
- Планети-гіганти — це великі газові шари.
Характерні утворення та деякі особливості
- Юпітер: Велика червона пляма — колосальний атмосферний вихор, який існує понад 300 років; має сильне магнітне поле та радіаційні пояси; в атмосферу Юпітера входять водень, гелій та незначна кількість аміаку, метану та водяної пари; найбільш відомі супутники Юпітера — Європа, Ганімед, Іо, Калісто.

- Сатурн: кільця — ширина до 65 000 км, товщина — декілька км; має малу густину (менше густини води); має магнітне поле, величина якого втричі менше від магнітного поля Юпітера;
- Уран і Нептун — гігантські близнюки; мають товстий шар воднево-метанової атмосфери. Уран було відкрито за допомогою телескопа; Нептун — «на кінчику пера».
- Карликова планета — небесне тіло, що обертається безпосередньо навколо Сонця (тобто не є супутником іншої планети), має достатню масу, щоб гравітація надала їй гідростатично рівноважної форми, проте не розчистила околиці своєї орбіти від інших подібних тіл.

V. ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ

1. Читати § 15.
2. Завдання письмово стор. 96 № 15.2.

Урок 18/III-4

Тема. Астероїди. Комети. Тіла з поясу Койпера. Метеори та метеорити. Метеорні потоки. Фізичні характеристики малих тіл Сонячної системи та гіпотези походження. Астероїдна небезпека

Цілі:

- *навчальна:* ознайомити учнів з фізичною природою метеороїдів на прикладі розгляду основних характеристик астероїдів, комет, метеорних тіл і міжпланетного середовища Сонячної системи; сформулювати поняття про метеороїди як клас космічних тіл; ознайомити з основними фізичними характеристиками метеороїдів — рух, маса, розміри, густина, хімічний склад; розглянути фізичну природу небесних явищ: болідів, метеорів, метеорних дощів, сріблястих та перламутрових хмар, пояснити зв'язок метеорних потоків з кометами; показати роль явища бомбардування метеороїдами планетних тіл у формуванні рельєфу планети, у біосферних катастрофах; розглянути проблеми астероїдної і кометної безпеки земної цивілізації і погрози метеорних тіл для засобів космонавтики;
- *розвивальна:* продовжити формування умінь самостійно працювати з навчальною, довідковою і науково-популярною літературою; продовжити розвивати інтерес до предмета, використовуючи методи роботи з довідковими джерелами, рольової гри, нових інформаційних технологій навчання;
- *виховна:* продовжити формування наукового світогляду учнів під час пояснення природи небесних явищ — метеорів, болідів, «зоряних» дощів та їхнього зв'язку з кометами; ролі зіткнення Землі з астероїдами і кометами в біосферних катастрофах та еволюції нашої планети; визначити перспективи використання астероїдів і комет для потреб земної промисловості.

Нові поняття: метеороїди, комети, боліди, метеори.

- *Учні повинні мати уявлення:* основні характеристики метеороїдів як класу космічних тіл, міжпланетного середовища, основні фізичні характеристики комет: рух, маса, розміри, форма, хімічний склад, про астероїдну небезпеку.
- *Учні повинні знати:* практичне застосування наукових досягнень і засобів космонавтики для захисту Землі від зіткнень з ядрами комет і астероїдами, перспективи їх використання для потреб земної промисловості.
- *Учні повинні вміти:* складати класифікаційні таблиці і схеми; використовувати узагальнений план для вивчення космічних об'єктів; обґрунтовувати проблему астероїдної небезпеки; розв'язувати задачі на обчислення відстаней до астероїдів.
- *Міжпредметні зв'язки:* фізика, математика, географія.

Демонстрації:

- 1) космічні знімки астероїдів, комет, метеорів та метеорних потоків;
- 2) фотозображення метеоритів;
- 3) карта розподілу на небесній сфері радіантів відомих метеорних потоків;
- 4) фотозображення астроблем.

Обладнання: комп'ютер; мультимедійний проектор, екран; презентація «Малі тіла Сонячної системи»; презентації, підготовлені учнями.

План заняття

Час	Метод навчання	Зміст роботи	Наочне приладдя, ТЗН
0,5 хв	Бесіда	Організаційний момент Перевірка готовності учнів до уроку. Стимулювання діяльності учнів, забезпечення їхньої загальної готовності, забезпечення своєчасного й організованого початку уроку	
1 хв		Мотивація навчальної діяльності Повідомлення цікавих фактів про вивчення малих тіл Сонячної системи	
25 хв	Повідомлення учнів	Пояснення нового матеріалу 1) Метеороїди: загальні відомості. 2) Астероїди: характеристики руху, маси, розміри, форма, хімічний склад. 3) Комети: характеристики руху, маси, розміри, структура, хімічний склад, механізм утворення хвостів. 4) Метеорні тіла. Міжпланетне середовище. 5) Метеори. Боліди. Зв'язок метеорних потоків з кометами. 6) Зіткнення метеороїдів із Землею й іншими планетними тілами. Роль метеороїдного бомбардування в утворенні їхнього рельєфу. Біосферні катастрофи в історії Землі. 7) Захист Землі від зіткнень з кометами й астероїдами і перспективи їх використання	Роздавальний матеріал, відеофрагменти, презентації, підготовлені учнями
15 хв	Робота в групах	Узагальнення матеріалу Особливості планет земної групи, планет-гігантів Схожість та відмінність між двома групами планет	
2 хв		Підбиття підсумків уроку	
1 хв		Домашнє завдання Читати § 16, стор. 105 № 16.1	

ХІД УРОКУ

I. ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ МОМЕНТ

II. МОТИВАЦІЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

На початку уроку учням можна запропонувати запитання: як герби Франції, Гасконії та кінофільм «Три мушкетери» стосуються теми даного уроку? (Муніципалітет м. Жульєка (Гасконія) наді-

слав в Академію наук Франції протокол, яким було засвідчено що 1790 року 24 липня з неба на міську площу упав великий камінь. Академіки вирішили, що мер міста, «ймовірно, не сповна розуму», та вирішили боротися з такими марновірствами.)

III. ПОЯСНЕННЯ НОВОГО МАТЕРІАЛУ

1. Астероїди

Астероїд — невелике небесне тіло діаметром від 50 м до 1000 км, що складається зі скельних порід або заліза та нікелю.

Орбіти більшості астероїдів перебувають між орбітами Марса і Юпітера (так званий головний пояс астероїдів). Вважають, що вони залишилися після формування Сонячної системи. Загальна кількість астероїдів — понад 500 тис., загальна їх маса становить лише кілька відсотків від маси Землі.

Найвідоміші астероїди: Паллада, Юнона, Веста, Ерос, Амур, Гідальго, Ікар.

Термін «астероїд» (зореподібний) було введено Вільямом Гершелем, оскільки перші виявлені астероїди на небі були як зорі (або точки), на відміну від планет, які під час спостереження у телескоп видаються дисками. Водночас астероїди, на відміну від зір, рухалися. Точне визначення терміна «астероїд» досі не встановлено. Термін «мала планета» (або «планетоїд») не підходить для визначення астероїдів, оскільки вказує на постійне розташування об'єкта в Сонячній системі, а в нашій системі є й астероїди-гості.

Розмір є одним із основних параметрів, за якими класифікують астероїди. Чинна класифікація визначає астероїдами об'єкти діаметром понад 50 м, відрізняючи їх від метеороїдів, які теж подібні до уламків скелі, але менші за розміром. Класифікація спирається на міркування, що, входячи до атмосфери Землі, астероїди можуть уціліти і досягти її поверхні, у той час як метеороїди здебільшого згорають в атмосфері повністю.

Від комет астероїди відрізняються тим, що не мають характерного кометного хвоста.

Астероїд можна визначити як об'єкт Сонячної системи, що складається з твердих матеріалів (не з льоду), який за розмірами більший від метеора.

На сьогодні відомо понад 20 000 великих астероїдів, щорічно відкривають десятки нових. Перша сотня астероїдів була названа іменами давньоримських і давньогрецьких богинь, потім астрономи звернулися до імен богів з міфів інших народів. Коли ж і їх за-

паси було вичерпано, учені почали давати астероїдам імена героїв епосу. У наші дні астероїди іменують на честь великих людей, видатних вчених, філософів, національних героїв. Астероїд № 852 названий Владленом на честь В. І. Леніна, № 1000 — Піацція, № 1001 — Гауссія, № 1772 — Гагаріна, № 1709 — Руднева. Право назвати астероїд належить його першовідкривачеві і затверджується потім рішенням міжнародної комісії вчених. До початку XXI століття було дано імена більш ніж 8935 астероїдам.

Орбіти 98 % астероїдів лежать між орбітами Марса і Юпітера, на відстані 2,2–3,2 а. о. від Сонця і являють собою незамкнені еліптично подібні витки з невеликими періодичними коливаннями основних характеристик (великої півосі, ексцентриситета, нахилу до площини екліптики), аналогічними до прецесії земної осі. Лінійна швидкість руху астероїдів близько 20 км/с, період обертання навколо Сонця — від 3 до 9 років, ексцентриситет орбіт $0 < e < 0,2$; нахил орбіт до площини екліптики $5\text{--}10^\circ$. Приливний вплив Юпітера і Марса розділив пояс астероїдів на кілька кілець «люками Кірквуда» — областями, у яких астероїди майже не зустрічаються.

Відомо понад 100 із приблизно 200 000 астероїдів, що періодично зближаються з орбітою Землі, з них понад 500 за розмірами більші за 1 км. Значна їх частина належить до сімейства Амура, Аполлона й Атона, що проникають усередину земної орбіти. Деякі, у тому числі 40-кілометровий Ганімед і 20-кілометровий Ерос, можуть зближатися із Землею до небезпечної відстані менше 1 мільйона кілометрів. Деякі астероїди мають орбіти, що зближаються в перигелії з Венерою чи навіть Меркурієм. Астероїд Ікар проходить перигелій у 28 млн км від Сонця.

Відомі астероїди (названі на честь героїв Троянської війни), орбіти яких лежать у точках Лагранжа на орбіті Юпітера. Є астероїди, що обертаються між Юпітером і Сатурном.

Розміри і маса найбільших астероїдів: Церера — 10^{20} кг, 940 км; Паллада — 600 км, $2,2 \cdot 10^{20}$: 3; Юнона — 525 км. Веста має поперечник 530 км, масу $2,8 \cdot 10^{20}$ кг, на її поверхні виявлено кратер діаметром 460 км і глибиною 13 км — результат зіткнення з іншим гігантським астероїдом. Вони мають майже сферичну форму і за своїми фізичними характеристиками є силікатними планетоїдами. Велика частина відомих астероїдів має розміри в кілька десятків кілометрів і безформну структуру, їхня поверхня порита кратерами ударного походження. За розрахунками вчених, у поясі астероїдів між Марсом і Юпітером має бути до 10^6 тіл розмірами понад

1 км і мільярди дрібних кам'яних брил. Середня густина речовини більшості астероїдів $3\text{--}3,5 \text{ г/см}^3$. Загальна маса астероїдної речовини до $4,2 \cdot 10^{21} \text{ кг}$.

Хімічний склад астероїдів різноманітний. Найбільш численні кам'яні, силікатні *S*-астероїди з альбедо $0,08 < d < 0,4$; базальтові, чи вуглисті, майже чорні *C*-астероїди ($0,03 < d < 0,6$) і металеві, що майже цілком складаються з нікелістого заліза *M*-астероїди ($0,07 < d < 0,23$). Ряд малих планет «випадає» із загальної класифікації і поєднується в особливу *V*-групу. Такою, зокрема, є Церера, поверхня якої складається зі своєрідних мінералів, що нагадують земні глини і містять до 10 % води; Церера має дуже розріджену атмосферу, гази якої безупинно виділяються з надр планетоїда. Деякі астероїди мають пористу будову.

Деякі астероїди мають за супутників астероїди меншої маси: у 56-кілометрової Іди виявлено 1,5-кілометровий супутник Дактиль; навколо Євгенії (214 км) обертається Маленький Принц (13 км) і т. ін. Астероїд Антіопа — подвійний, оскільки складається з об'єктів 170 км, що обертаються навколо загального центра.

2. Комети

Комети значно відрізняються від інших планетних тіл Сонячної системи характеристиками свого руху (елементами орбіт). Поряд з кометами, що обертаються навколо Сонця по еліптичних орбітах з різним ексцентриситетом — від $e = 0,1$ (комети Швассмана—Вахмана-1, Отерма) до $e = 0,955$ (комети Галлея, Ольберса), існують комети, що рухаються по параболических ($e = 1$) і навіть гіперболічних орбітах, проникаючи усередину Сонячної системи один раз за всю історію свого існування. Настільки ж різноманітними є кути нахилу кометних орбіт до площини екліптики — від $i \approx 1^\circ$ (комета Кодзими) до $i \approx 180^\circ$ (комети Хейла—Боппа, Галлея). Відомо понад 150 комет, що «дряпають Сонце», які у перигелії проникають усередину орбіти Меркурія (комета Ікейя—Секі, комета 1882 року). Багато комет зближаються із Сонцем на відстань понад 2–3 а. о. (комети Вольфа, Нейуміна).

На сьогодні відомо понад 2000 комет, у половини яких обчислені характеристики орбіт. Близько 25 % комет є короткоперіодичними, з періодом обертання до 200 років. Усі короткоперіодичні комети можна розділити на сімейства комет за наближеністю афелію кометної орбіти до орбіт планет. Велика частина «комет, що дряпають Сонце», поєднуються в сімейство Крейца (за прізвиськом вче-

ного, що вказав на їхню подібність наприкінці XIX ст.). Сімейство Юпітера нараховує понад 120 комет; сімейство Сатурна — понад 15 комет; сімейство Урана — понад 5 комет; сімейство Нептуна — понад 10 комет (у тому числі комета Галлея). Комети з періодом обертання понад 200 років називають довгоперіодичними. Наприкінці XX століття вченим було відомо понад 850 довгоперіодичних комет, у тому числі $3/4$ з параболическими і $1/4$ з гіперболічними орбітами. Передбачається існування «кометних кілець», подібних до кільця астероїдів, між орбітами планет-гігантів. Елементи орбіт комет під час зближення з планетами-гігантами сильно змінюються під дією збурювань з боку планет.

Джерелом такої вражаючої кількості короткоперіодичних комет є «кометні пояси» і пояс Койпера, що розташований на відстані 35–50 а. о. від Сонця й містить до 200 мільйонів кометних ядер. Орбіти кометних ядер у хмарі Хілса відносно стійкі.

Джерелом параболических і гіперболічних комет є хмара Оорта. Гравітаційні поля зір, що переміщуються поблизу Сонячної системи, змінюють майже колові орбіти кометних ядер хмари Оорта, і деякі з них улітають усередину Сонячної системи, піддаючись збурювальній дії планет-гігантів, інші ж залишають Сонячну систему назавжди. Щорічний приплив комет усередину Сонячної системи складає від 5 до 10 за рік. За розрахунками деяких учених, за час існування Сонячної системи хмара Оорта вдвічі зріділа.

Хоча відомо десятки комет, що зробили понад 10 обертів навколо Сонця, загибель періодичної комети в результаті повного випаровування і руйнування ядра — усього лише справа часу: відповідно до розрахунків, під час проходження перигелію вони втрачають 0,1–0,5 % маси, при цьому їхній блиск зменшується на $0,04^m - 0,01^m$ за один оберт. Короткоперіодичні комети «живуть» 300–600 років, довгоперіодичні — до 1 мільйона років. Повне випаровування легких компонентів або утворення тонкої тугоплавкої кори на поверхні ядра може уповільнити її смерть, уподібнити короткоперіодичну комету до астероїда з ексцентричною орбітою.

Щорічно відкривають десятки нових комет, причому 90 % з них було виявлено аматорами астрономії. Дж. Бредфілд (Австралія) відкрив до 1988 року 13 комет, К. Ікейя (Японія) — 11 комет, К. І. Чурюмов (СРСР) — 2 комети. Кароліна Шумейкер відкрила до кінця 2000 р. 30 комет. Кометі надають ім'я її першовідкривача: комета Бредфілда, комета Ікейя—Секі, комета Чурюмова—Герасименко (до 3 імен першовідкривачів). Останніми роками чимало ко-

мет було відкрито в навколосонячній області за допомогою космічних обсерваторій SONO (100 комет до кінця 2000 року) і LINEAR (50 комет).

З давніх часів поява комети на небі сіяла серед людей жах і паніку. У Європі вважали, що комети передвіщають смерть монархів та інших правителів, а також усякого стихійного лиха і війни. Марновірства дожили до кінця XX століття.

1986 року радянські АМС «Вега» пройшли на відстані 8500 км від ядра комети Галлея, провівши дослідження ядра й атмосфери комети разом з АМС «Сакігаке» (Японія) і «Джотто» (ЄЕС).

За сучасними даними, на великих відстанях від Сонця комети являють собою брили твердої речовини: суміш водяного і метанового льоду, замерзлих газів (CO_2 , CO , C_2CH , CN , CS , HCN , C_2H_6 , CH_3CN) із вмороженими в неї уламками гірських порід і дрібним пилом. Густина кометного ядра — близько $1,0 \text{ г/см}^3$. Розміри кометних ядер від 50 м до 50 км. Батьківське тіло сімейства Крейца, імовірно, мало розміри близько 120 км.

Наблизившись до Сонця до 4–6 а. о., речовина кометного ядра починає нагріватися і сублімуватися, утворюючи газопилову атмосферу кометного ядра — кому чи оболонку комети розмірами 10^4 – 10^6 м. Додатковими джерелами енергії речовини кометних ядер можуть бути хімічні реакції, у тому числі вибухового характеру. Взаємодія сонячного вітру і тиск сонячного світла на розріджену речовину — іонізований газ і пил оболонки — породжує кометні хвости завдовжки до 500 000 000 км, густиною 10^{-18} атм (1 частка на 100 м^3), через що їх назвали «видимим ніщо».

Кометні хвости I типу утворені іонізованими атомами і молекулами газу, що зі швидкістю 10 – 10^2 км/с їх несуть від ядра потоки сонячного вітру і тиск сонячних променів.

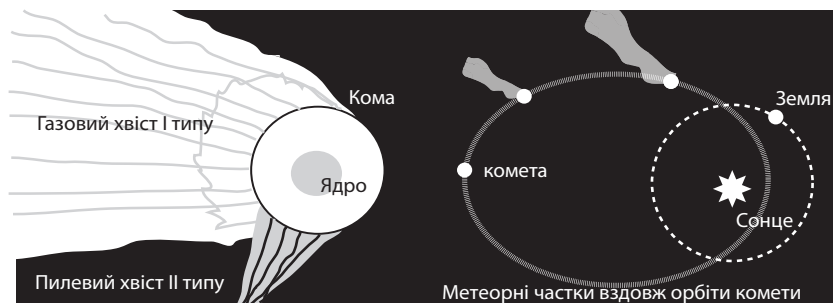


Рис. 18.1. Комети

Хвости I типу мають циліндричну форму, поперечник від $2 \cdot 10^4$ до $3 \cdot 10^4$ км і блакитнуватий колір.

Хвости II типу — пилові, жовті, вигнуті, такі, що відхиляються назад відносно орбітального руху.

Хвости III типу утворюються в результаті потужного викиду пилових частинок з ядра.

За різних взаємних положень Сонця, Землі і комети основні, газові хвости I типу завжди напрямлені в протилежному від Сонця напрямку; хвости II типу і III типу можуть по-різному проектуватися на небо, іноді навіть у напрямку Сонця (такий аномальний хвіст спостерігався в комети Оренд–Ролана).

3. Метеорні тіла, метеорити, метеороїди, боліди

Простір Сонячної системи заповнює міжпланетне середовище — розріджена матерія, що концентрується в площині екліптики і складає до 0,000000000001 % маси нашої планетної системи. Основними її компонентами є:

- 1) сонячний вітер: потоки заряджених частинок (e , p) швидкістю 10^2 – 10^4 м/с і густиною до 10^3 частинок/см³, що видувують частинки космічного газу за межі Сонячної системи;
- 2) галактичні космічні промені з енергією 10^6 – 10^9 еВ;
- 3) міжпланетне магнітне поле — магнітне поле Сонця, яке відносить сонячний вітер, його напруженість поблизу Землі становить від $2 \cdot 10^{-5}$ до $8 \cdot 10^{-4}$ Е і залежить від рівня сонячної активності;
- 4) міжпланетний пил — метеорні частинки масою 10^{-17} – 10^{-14} кг розмірами 10^{-9} – 10^{-4} м і концентрацією до 10^{-25} м³.

Загальна маса космічного пилу в Сонячній системі 10^{16} – 10^{17} кг; 2/3 порошин мають маси 0,00001–0,001 г, округлу форму і силікатний чи органічний склад. Густина космічного пилу збільшується поблизу площини екліптики й у напрямку до Сонця; на відстані 3 а. о. від Сонця космічний пил майже відсутній. Частина міжпланетних порошин генерується системою Юпітера; виявлено потік міжзоряних порошин, що перетинають Сонячну систему зі швидкістю понад 42 км/с.

Відбите і розсіяне пилом сонячне світло створює дуже слабе світіння, що спостерігається на земному небі після заходу Сонця у вигляді світлового конуса уздовж екліптики і називається **зодіакальним світлом**. Розсіювання сонячного світла більш далекими від Сонця порошинами породжує ще більш слабку пляма світла — протисяяння в протилежній від Сонця точці неба.

З-поміж космічних порохин виділяють також частинки, що містилися в складі протопланетної туманності. Кілька років тому було відкрито пилове кільце — тор уздовж усієї земної орбіти, можливо, залишки «кільця стиску». Імовірно, подібні пилові кільця існують уздовж орбіт інших планет.

Основним постачальником космічного пилу в Сонячній системі є комети. Під час проходження поблизу Сонця комета втрачає частину своєї речовини: дрібні силікатні уламки, пил і газ розтягуються уздовж всієї орбіти комети і поступово під дією збурювань розсіюються в міжпланетному просторі. Швидкість руху цих метеорних тіл (порошин і камінчиків) відносно Землі складає від 11,2 до 76 км/с залежно від того, чи доганяють вони Землю, чи летять їй назустріч.

Під час вторгнення метеорного тіла в атмосферу Землі спостерігається світлове явище — метеор. Гальмуючи метеорне тіло в атмосфері на висоті від 120 до 80 км над землею, воно нагрівається, плавиться, дробиться на дрібні частини, розпорошується і випаровується. У разі зіткнень молекул, що випарувалися, з молекулами й атомами повітря відбувається їхній розпад на атоми, порушення й іонізація. Спостерігач бачить світіння розпечених пар метеорного тіла і газів атмосфери довкола нього.

Щодоби у всьому небі Землі спостерігається до 10^6 метеорів.

Щорічно у певні дати під час перетинання Землею орбіти якої-небудь комети, уздовж якої розтяглася хмара метеорних частинок, в атмосфері Землі спостерігаються потоки метеорів. Унаслідок явища перспективи земному спостерігачеві здається, що всі ці метеори вилітають з однієї точки (частіше — невеликої ділянки) небесної сфери — радіанта (площі радіації) метеорного потоку. Назви метеорним потокам дають за сузір'ями, у яких знаходиться їхній радіант, іноді з указівкою найближчої до нього зорі сузір'я.

Під час метеорного потоку спостерігається до 10 000 метеорів у годину. У Леоніди 16–17 листопада 1966 року щогодини спостерігалось від 60 000 до 140 000 метеорів!

В окремих випадках великі метеорні тіла не встигають цілком зруйнуватися і випаруватися під час свого руху в атмосфері і після повного гальмування випадають на поверхню Землі метеоритами (до 2000 у рік). На сьогодні у різних районах Землі знайдено понад 20 000 метеоритів. Майже усі вони є дрібними уламками астероїдів. Відомі метеорити — це осколки ядер комет, десятки метеоритів є уламками місячних порід, викинутих у космос вибухами

на поверхні Місяця. Знайдено також 14 метеоритів марсіанського походження. І до сьогодні метеорити є чи не єдиними зразками речовини неземного походження, яку учені можуть докладно вивчати в земних лабораторіях. Маса виявлених метеоритів коливається від частинок грама до десятків і сотень тонн.

Залежно від хімічного складу метеорити поділяються на 3 групи.

- **Кам'яні метеорити** (92 % від загального числа). З-поміж них виділяють: хондрити (85,7 %), що складаються із залізомагнізальних силікатів (олівіну $(\text{Fe}, \text{Mg})\text{SO}_4$ — 25–60 %, гіперстину і бронзиту $(\text{Fe}, \text{Mg})\text{Si}_2\text{O}_6$ (20–35 %), нікелістого заліза (8–21 %) і сульфату заліза Fe (5 %). Вуглисті хондрити містять від 2 до 8 % вуглистої речовини, 20 % води і, ймовірно, найбільш близькі за складом до речовини протопланетної туманності. Деякі учені вважають ці рідкі метеорити уламками кометних ядер. Ахондрити (7,2 %) вирізняються малим вмістом заліза, нікелю, кобальту, хрому і, ймовірно, утворюються під час переплавлення хондритової речовини в надрах масивних батьківських тіл. Батьківським тілом базальтових ахондритів (6 % метеоритів) є астероїд Весту.
- **Залізокам'яні метеорити** (2 % від загального числа) складаються наполовину з металу, наполовину із силікатів і являють собою металеву (олівінову) губку, у порах якої розташовані силікати, або, навпаки, силікатну губку із включеннями нікелістого заліза.
- **Залізні метеорити** (10 %) на 98 % складаються з нікелістого заліза. Найбільшим зі знайдених метеоритів є Гоба розмірами $2,95 \times 2,84$ м, масою 60 тонн (ПАР).

З падінням метеоритів на Землю пов'язані проблеми «космічної безпеки Землі», які розв'язують за допомогою сучасних засобів науки і техніки. З іншого боку, як перспективне вчені розглядають використання метеороїдів для потреб земної цивілізації.

На сьогодні відомо близько 200 астероїдів, що періодично зближаються із Землею на відстань менше 1 млн км; загальне число таких астероїдів вчені оцінюють у 20–30 тисяч. 9 грудня 1994 року астероїд 1994ХМ був виявлений за 9 годин до максимального зближення — 100 000 км від Землі.

Об'єкти розмірами до 50 м зіштовхуються із Землею в середньому раз у 600 років (маса Сіхоте-Алінського метеорита, що упав 1947 року на Далекому Сході, складала 100 тонн) і здатні спричинити руйнування на площі до 100 км^2 . Астероїди розмірами до 500 м

падають на Землю раз у 60 000 років і спричиняють локальні ушкодження її поверхні вибухом потужністю до 10 Мт (Арізонський метеорит, кратер має діаметр 200 м і вік 5000 років). Падіння астероїда від 0,5 до 2 км веде до вибуху потужністю до 10^6 Мт тротилового еквівалента і призводить до катастроф регіонального характеру: руйнування і пожежі охоплюють площу до 10^7 м². Зіткнення Землі з астероїдом розмірами понад 2 км відбувається рідше, ніж раз на мільйон років, однак вибух потужністю понад $2 \cdot 10^4$ Мт веде до катастроф глобального масштабу. Крім руйнувань, спричинених ударною хвилею, пожеж і цунамі, що спустошують континенти на сотні кілометрів від берега, в атмосфері значно зростає концентрація окислів азоту, вибух викидає в стратосферу мільйони тонн дрібного пилу, що породжує ефект «ядерної зими» чи, навпаки, розігріває атмосферу. Зіткнення Землі з об'єктами розмірами понад 10 км відбувається в середньому кожні 63 мільйони років.

Під час зіткнення Землі з 10-кілометровим астероїдом, що рухається зі швидкістю 16–17 км/с, потужність вибуху становить десятки тисяч мегатонн тротилового еквівалента. Утворюється кратер діаметром до 100 км і глибиною 1–2 км. Мільярди тонн пилу, викинутого вибухом у верхні шари атмосфери Землі, перешкоджатимуть сонячним променям і зумовлюватимуть ефект «ядерної зими» із глобальним зниженням середньорічних температур на 10–40 К протягом десятків і сотень років. Це згодом спричинить масове вимирання живих організмів. На поверхні Землі виявлено понад 250 кратерів-астроблем («зоряних ран») розмірами від 1 до 150 км. Кратер Мороквен розмірами 120 × 340 км утворився на межі між юрським і крейдовим періодом 142,8–147,7 мільйона років тому. Кратер Хіксулуб (півострів Юкатан), що виник на межі мезозойської і кайнозойської ери 65 млн років тому, має розміри 180 × 280 км. Кратери Попигай і Чесапик-Бей виникли на межі еоцену й олігоцену 35,2–35,7 мільйона років тому.

Пропонується створення глобальної системи контролю космічного простору, початок розгортання якої намічено на перше десятиліття XXI століття. Для захисту Землі від невеликих об'єктів ефективним буде застосування термоядерної зброї: для повного розпилення об'єкта розмірами в 50 м достатньо заряду потужністю 0,8 Мт. Для цілковитої безпеки вибух слід здійснювати за 40 і більше діб до зіткнення. Більш великі, понад 500 м, астероїди варто відхиляти від «фатальної» траєкторії польоту серією послідовних вибухів на їхній поверхні. Вибух потужністю 1 Мт на по-

верхні об'єкта діаметром 1 км змінює його швидкість на 0,15 м/с. Для керування руху астероїда діаметром до 45 км потрібні заряди потужністю до 100 Мт. Іншими варіантами протидії можуть стати вплив на астероїд потужним лазерним чи НВЧ-випромінюванням, зіткнення з ним астероїдів меншої маси, створення на його шляху хмари дрібних частинок.

Астероїди можуть стати невичерпними рудниками людства, місцем будівництва космічних заводів, лабораторій і електростанцій. Енерговитрати пілотованого польоту до астероїда на навколоземній орбіті істотно нижче, ніж для польоту на Місяць.

Речовина астероїда може бути використана для створення екрана для глобального керування кліматом Землі і запобігання її перегріванню. Круглий напівпрозорий комірчастий екран, що дозволяє змінювати затіняючий ефект від нуля до розрахункового значення, буде мати масу від 200 до 800 млн тонн і встановлюватися на відстані 2,36 млрд км від планети, у точці, де відцентрова, гравітаційна сила і сила світлового тиску врівноважують одна одну.

IV. ЗАКРІПЛЕННЯ НОВОГО МАТЕРІАЛУ

Задачі

1. Знайти радіант, указати назву і визначити епоху активності метеорного потоку, якщо зі спостережень установлені координати початку і кінця 3 метеорів.

NN	Координати початку спалаху метеора		Координати кінця спалаху метеора	
	α, год хв	δ, град	α, год хв	δ, град
1	10 год 30 хв	+50°	9 год	+60°
2	15 год	+30°	14 год 40 хв	+55°
3	20 год 30 хв	+20°	21 год	+35°

2. На початку 1997 року на небі північної півкулі Землі спостерігалася яскрава комета Хейла—Боппа. Визначте за зоряною картою й екваторіальними координатах на січень—травень 1997 року шлях комети серед зір.

Місяць	α	δ	Місяць	α	δ
січень	19 ^h 30 ^m	+12°	квітень	2 ^h 40 ^m	+44°
березень	21 ^h 30 ^m	+35°	травень	2 ^h 40 ^m	+25°

3. Який напрямок щодо сторін горизонту має хвіст комети, що спостерігається за годину до сходу Сонця?
4. Чим обумовлені мінімальні і максимальні значення швидкості зіткнення метеорних частинок із Землею?
5. Що таке астероїд?
6. Де розташовані орбіти астероїдів?
7. Яку форму мають астероїди?
8. Назвіть найбільший астероїд?
9. Назвіть найбільший об'єкт пояса Койпера?
10. У чому ідеальність пари Плутон—Харон?
11. Що таке пояс Койпера?
12. Що таке хмара Оорта?
13. Де розташований пояс Койпера?
14. Де розташована хмара Оорта?
15. Що собою являє тіло комети?
16. Що таке грудки комети?
17. Що собою являє Кентавр?
18. Які об'єкти належать грекам і троянцям?
19. Чи мають астероїди супутники?
20. Які астероїди належать до потенційно небезпечних для Землі?
21. Де живуть короткоперіодичні комети?
22. Що є джерелом метеоритного потоку?
23. Що таке радіант метеоритного потоку?
24. Що таке метеор?

Запитання до учнів у ході викладу нового матеріалу

1. Які космічні тіла є найбільшими в Сонячній системі?
2. Як відрізнити під час спостережень безхвосту комету від туманності?
3. Чи може періодична комета вічно зберігати свій вид незмінним?
4. Чому метеорні потоки пов'язані з певними кометами?
5. Чим відрізняється форма більшості кометних орбіт порівняно з орбітами планет?
6. З чого складається ядро комети?

Що ми дізналися на уроці

- Комета — мале тіло Сонячної системи, яке обертається навколо Сонця і має так звану кому (атмосферу) і/або хвіст. Кому і хвіст комети — це наслідки випаровування ядра комети під дією сонячного випромінювання. Ядро складається з каменю, пилу і криги.

- Астероїд або мала планета — невелике небесне тіло діаметром від 50 м до 1000 км, що складається зі скельних порід або заліза та нікелю.
- Метеороїд, або метеорне тіло, — небесне тіло, проміжне за розміром між міжпланетним пилом і астероїдом. Згідно з офіційним визначенням Міжнародної метеорної організації, метеороїд — це твердий об'єкт, що рухається в міжпланетному просторі, розміром значно менше від астероїда, але значно більше від атома. Британське королівське астрономічне товариство висунуло інше формулювання: метеороїд — це тіло діаметром від 100 мкм до 10 м. Інші джерела обмежують розмір метеороїда в 50 м.
- Видимий слід метеороїда, що увійшов у атмосферу Землі, називається метеором, а метеороїд, що впав на поверхню Землі, — метеоритом.
- Метеорний дощ — природне явище, під час якого можна побачити численні метеори, що летять ніби з однієї точки на небосхилі. Першопричиною метеорних дощів є комети, що обертаються навколо Сонця. Для переважної більшості метеорних дощів батьківські комети є ідентифіковані. Уламки від них упродовж всіх їх орбіт формують метеорний «потік». Метеорний дощ спостерігається в разі перетину в певній точці простору орбіти Землі та метеорного потоку. Як правило, це явище є періодичним, триває від декількох днів до декількох тижнів і спостерігається щороку приблизно в однакові місяці. Наприклад, Леоніди — друга половина листопада, Ліриди — середина квітня і т. ін.
- Більшість метеорів, які можна побачити під час метеорного дощу, спричинені уламками комети завбільшки з піщинку, тому випадки досягання метеоритами землі під час метеорних дощів є надзвичайно рідкісними.
- Назва конкретного метеорного дощу, як правило, походить від назви сузір'я, у якому розташований радіант метеоритного дощу (уявна точка, з якої вилітають метеори). Наприклад, Персеїди — сузір'я Персея, Леоніди — сузір'я Лева і т. ін.

V. ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ

1. Читати § 16.
2. Завдання письмово стор. 105 № 16.2.

Урок 19/III-5

Тема. Контрольна робота з теми «Сонячна система»

Цілі:

- *навчальна:* перевірити та оцінити знання учнів з теми «Сонячна система», закріпити знання учнів щодо закономірностей, які існують у Сонячній системі;
- *розвивальна:* продовжити формування умінь самостійно працювати з навчальною, довідковою літературою; продовжити розвиток навичок застосування знань, одержаних під час вивчення фізики для розв'язування задач на визначення фізичних характеристик тіл Сонячної системи;
- *виховна:* продовжити формування наукового світогляду учнів під час пояснення природи небесних явищ, акуратності під час оформлення записів, навичок планування розподілу навчального часу на виконання окремих завдань.

Нові поняття:

- *Учні повинні мати уявлення:* про небесні тіла, які входять до складу Сонячної системи.
- *Учні повинні знати:* фізичні характеристики планет-гігантів, природу всіх тіл Сонячної системи.
- *Учні повинні вміти:* складати класифікаційні таблиці і схеми; використовувати узагальнений план для розв'язування задач, розв'язувати задачі на розрахунок різних фізичних характеристик тіл Сонячної системи, аналізувати результат та робити відповідні висновки.

Міжпредметні зв'язки: фізика, математика, географія.

Обладнання: дидактичний матеріал, таблиці, калькулятор.

План заняття

Час	Метод навчання	Зміст роботи	Наочне приладдя, ТЗН
0,5 хв	Бесіда	Організаційний момент Перевірка готовності учнів до уроку. Стимулювання діяльності учнів, забезпечення їхньої загальної готовності, забезпечення своєчасного й організованого початку уроку	
1 хв	Бесіда	Пояснення правил оформлення контрольної роботи. Ознайомлення з текстом контрольної роботи	
42 хв	Контроль знань	Виконання контрольної роботи «Природа тіл Сонячної системи»	Карточки-завдання
1 хв		Підбиття підсумків уроку	
0,5 хв		Домашнє завдання Підготувати повідомлення «Гіпотези виникнення Сонячної системи»	

ХІД УРОКУ

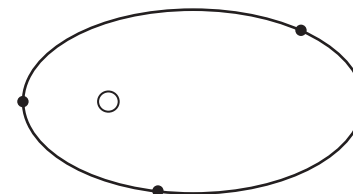
I. ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ МОМЕНТ

II. ПОЯСНЕННЯ ПРАВИЛ ОФОРМЛЕННЯ КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ

III. ВИКОНАННЯ КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ

Варіант 1

1. Доберіть загальні особливості для пар планет:
 - а) чергуються паралельні темні і світлі смуги хмар;
 - б) багато кратерів і гір;
 - в) вкриті товстими водневими і метановими хмарами.
 - Меркурій і Венера;
 - Юпітер і Сатурн;
 - Уран і Нептун.
2. На рисунку знайдіть такі елементи:
 - а) Сонце;
 - б) еліпс;
 - в) афелій;
 - г) перигелій;
 - д) точку, у якій найбільша сила тяжіння;
 - ж) точку, де планети рухаються найповільніше.



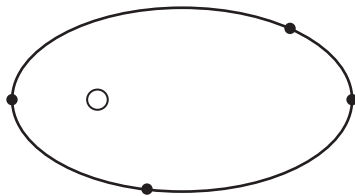
3.
 - а) Охарактеризуйте температурні умови на планетах земної групи.
 - б) Охарактеризуйте атмосферу планет земної групи і дайте пояснення її фізичним характеристикам.
 - в) Які температурні умови на незначній глибині під поверхнею Місяця і чому?
4. Оберіть правильну відповідь.
Хвіст комети подібно до її оболонки...:
 - а) є постійною частиною комети;
 - б) утворюється в безпосередній близькості від Сонця;
 - в) у будь-якій точці орбіти комети доступний спостереженням.
5. Використовуючи дані (див. нижче таблицю), визначте середню густину Каллісто, прискорення вільного падіння на поверхні Титану і критичну швидкість для Тритона. Відповідні фізичні характеристики Місяця вважати відомими (маса Місяця —

$7,35 \cdot 10^{22}$ кг, радіус — 1738 км, середня густина — $3350 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$, прискорення вільного падіння поблизу поверхні — $1,622 \text{ м} \cdot \text{с}^{-2}$, критична швидкість $2,38 \text{ кг} \cdot \text{с}^{-2}$).

№	Назва супутника	Маса ($M = 1$)	Радіус ($R = 1$)
1	Ганімед	2,1	1,5
2	Європа	0,65	0,9
3	Іо	1,2	1,0
4	Каллісто	1,4	1,4
5	Місяць	1,0	1,0
6	Титан	1,8	1,5
7	Тритон	1,9	1,3

Варіант 2

- Доберіть спільні відповідники для пар планет:
 - мають найбільшу кількість супутників у Сонячній системі;
 - мають велику масу і незначну середню густину;
 - вкриті товстими водневими і метановими хмарами.
 - Меркурій і Венера;
 - Юпітер і Сатурн;
 - Уран і Нептун.
- На рисунку знайдіть такі елементи:
 - Сонце,
 - еліпс,
 - афелій;
 - перигелій;
 - точку, у якій найбільша сила тяжіння;
 - точку, де планети рухаються найповільніше.



- Охарактеризуйте температурні умови на планетах-гігантах.
 - Охарактеризуйте атмосфери планет-гігантів групи і дайте пояснення її фізичним характеристикам.

- Які температурні умови на поверхні Венери і чому?
- Оберіть правильну відповідь.

Ядро комети...:

 - схоже на маленьку планету;
 - являє собою сукупність твердих тіл і порошків, що утримуються разом взаємним тяжінням;
 - складається із сукупності окремих твердих тіл і порошків, зліплених в єдину брилу замороженими газами.
- Використовуючи дані (див. нижче таблицю), визначте середню густину Титана, прискорення вільного падіння на поверхні Каллісто і критичну швидкість для Ганімеда. Відповідні фізичні характеристики Місяця вважати відомими (маса Місяця — $7,35 \cdot 10^{22}$ кг, радіус — 1738 км, середня густина — $3350 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$, прискорення вільного падіння поблизу поверхні — $1,622 \text{ м} \cdot \text{с}^{-2}$, критична швидкість $2,38 \text{ кг} \cdot \text{с}^{-2}$).

№	Назва супутника	Маса ($M = 1$)	Радіус ($R = 1$)
1	Ганімед	2,1	1,5
2	Європа	0,65	0,9
3	Іо	1,2	1,0
4	Каллісто	1,4	1,4
5	Місяць	1,0	1,0
6	Титан	1,8	1,5
7	Тритон	1,9	1,3

IV. ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ

Письмово підготувати повідомлення «Гіпотези виникнення Сонячної системи».

Урок 20/III-6

Тема. Гіпотези і теорії виникнення Сонячної системи, утворення планет. Основні етапи формування Сонячної системи. Відкриття екзопланет, їх фізичні характеристики

Цілі:

- *навчальна:* ознайомити учнів з теоріями і гіпотезами щодо виникнення Сонячної системи, планет навколо інших зір — екзопланет; описати основні етапи формування Сонячної системи, механізм утворення планет у Сонячній системі; сформувати поняття космогонії як розділу астрономії, що вивчає походження космічних об'єктів; розглянути утворення Сонячної системи як найбільш вивчений окремий випадок космогонії планетних систем;
- *розвивальна:* продовжити формування умінь самостійно працювати з навчальною, довідковою і науково-популярною літературою; продовжити розвиток інтересу до предмета, використовуючи методи роботи з довідковими джерелами, рольової гри, нових інформаційних технологій навчання;
- *виховна:* продовжити формування наукового світогляду учнів під час вивчення матеріалу про утворення Сонячної системи й Землі як одного із проявів космогонічних процесів формування планетних систем і планетних тіл; пояснити міф про створення світу (Землі) у світлі даних про вік Землі, Сонця, Сонячної системи й історії їхнього походження як окремого випадку відповідного космічного процесу.

Нові поняття: планетозималі, космічні системи.

- *Учні повинні мати уявлення про:* гіпотези і теорії виникнення Сонячної системи; екзопланети.
- *Учні повинні знати:* основні етапи формування Сонячної системи.
- *Учні повинні вміти:* характеризувати основні етапи формування Сонячної системи, схематично описувати механізм утворення планет у Сонячній системі, методи відкриття екзопланет.
- *Міжпредметні зв'язки:* фізика, математика, географія, література, історія.

Обладнання: комп'ютер; мультимедійний проектор, екран; презентація «Виникнення Сонячної системи».

План заняття

Час	Метод навчання	Зміст роботи	Наочне приладдя, ТЗН
0,5 хв	Бесіда	Організаційний момент Перевірка готовності учнів до уроку. Стимулювання діяльності учнів, забезпечення їхньої загальної готовності, забезпечення своєчасного й організованого початку уроку	
1 хв	Бесіда	Мотивація навчальної діяльності	

Час	Метод навчання	Зміст роботи	Наочне приладдя, ТЗН
25 хв	Лекція	Пояснення нового матеріалу 1) Про планетні тіла як типи космічних тіл; основні класи і групи космічних тіл. 2) Про планетні системи й основні закономірності в їхній будові, структурі й складі. 3) Про космогонію планетних систем. 4) Про утворення Сонячної системи	Презентація «Утворення Сонячної системи»
15 хв	Робота в групах	Узагальнення матеріалу Порівняння космологічних гіпотез утворення Сонячної системи	
2 хв		Підбиття підсумків уроку	
1 хв		Домашнє завдання Читати § 17	

ХІД УРОКУ

I. ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ МОМЕНТ

II. МОТИВАЦІЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

Учитель. Космогонія — наука про походження й розвиток небесних тіл і їхніх систем. Її історія тісно переплітається з усім процесом розвитку людського суспільства.

Людство спробує визначити, уточнити й конкретизувати систему своїх поглядів на світ, на те, яке місце в ньому відведено окремим явищам, насамперед таким, як народження планет, зоряних систем і галактик, і в якому співвідношенні це грандіозне дійство перебуває з нашою із вами роллю у світі!

III. ПОЯСНЕННЯ НОВОГО МАТЕРІАЛУ

1. Планетні системи

Планетні системи — це зв'язані силами взаємного тяжіння системи космічних об'єктів, зір і планетних тіл, що мають спільне походження й переміщуються в просторі як єдине ціле.

Зважаючи на універсальність дії фізичних законів, варто припустити існування ряду закономірностей для всіх планетних систем.

1. Основна маса планетної системи міститься в центральній зорі. Відстань між зорею й планетами, між планетними тілами та їхніми супутниками обумовлено основними фізико-хімічними

характеристиками, початковим розподілом маси, масштабами й особливостями турбулентних рухів речовини усередині протопланетного диска, збурювальними взаємодіями протопланет, що формуються, які описано певним законом.

2. Орбіти планетних тіл та їхніх супутників еліптичні й лежать в одній площині (за винятком орбіт дрібних метеороїдів).
3. Майже всі планетні тіла обертаються навколо своєї осі й навколо центральної зорі в напрямі її осевого обертання — обертання протозоряної хмари внаслідок статистичного усереднення моменту імпульсу всіх частинок протозоряної хмари, що утворили планетні тіла й зорю.

Відповідно до сучасних теорій зореутворення практично всі одиночні повільнообертові зорі спектральних класів F5–M9 масою менше $10 M_{\odot}$ повинні мати планетні системи. Планетні системи мають бути в 30–50 % зір Галактики, тобто у $30 \cdot 10^9 - 50 \cdot 10^9$ зір! Однак внаслідок низької власної світності й близькості до своїх центральних світил планетні системи являють собою досить складний об'єкт для астрономічних спостережень.

Пошук планетних систем здійснюється різними способами: про наявність планетних систем свідчать періодичні мікрозсуви ліній в оптичному або навіть радіоспектрі зорі (метод променевих швидкостей) або періодичні мікрозсуви в русі даної зорі відносно інших зір (астрометричний метод).

Планети чужих планетних систем дістали загальну назву позасонячних (екзопланет).

На сьогодні астрономи спостерігають планети-гігантів із планетних систем деяких близьких зір і навколо деяких пульсарів. До середини 2001 року кількість відомих планетних систем перевищила 60. Всі вони не схожі на Сонячну систему. Значна частина екзопланет має значно видовжені еліптичні орбіти з ексцентриситетом до 0,5–0,6 (у Сонячній системі ексцентриситет планетних орбіт не перевищує 0,2). Частина планет-гігантів — «гарячі юпітери» — обертається по дуже близьких до зорі колових орбітах. Відкрито планетну систему в тісній подвійній зоряній системі, що складається з карликів класів K і M у 1,5–2 а. о. один від одного; планета-гігант обертається навколо центра мас системи на відстані 5–7 а. о. Нейтронна зоря-пульсар PSR 1509-58 у сузір'ї Діви має 4 планети. Ніщо земне не прожило б і секунди у вічній пітьмі під потоками радіації, що омивають поверхні цих планет 160 разів за секунду.

2. Космогонія планетних систем

Еволюція планетних систем нерозривно пов'язана з еволюцією їхніх зір.

Одним із головних напрямів досліджень космогонії є вивчення умов і процесів виникнення планетних систем і планетних тіл.

Планетні системи формуються в ході утворення зір з речовини космічних газопилових хмар (туманностей), що збагачені важкими хімічними елементами і стискаються під дією сил тяжіння. Момент імпульсу стискальної обертової протозоряної хмари ($L > 10^{53}$ г/см³·с) розподіляється в ній нерівномірно. Внутрішнім областям, що містять у собі до 99 % маси хмари, переходить всього 1–2 % початкового моменту імпульсу, і вони стискаються в протозорю. До зовнішніх областей хмари переходить до 98–99 % моменту імпульсу, й вони перетворюються в протопланетний диск, що обертається навколо молоді зорі. Густина речовини в протопланетному диску перевищує 10^{-18} г/см³, розміри частинок космічного пилу становлять близько 0,1 мкм.

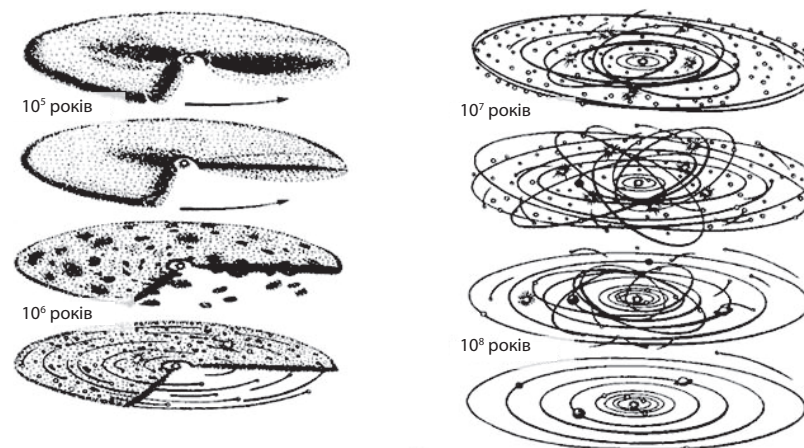


Рис. 20.1. Формування Сонячної системи як приклад утворення планетних систем

Газопиловий диск навколо зорі, що формується, дуже швидко «сплющується» під дією сил гравітації й відцентрової сили, спрямованих до найбільш густої частини диска в площині його обертання. Через кілька сотень тисяч років диск має масу близько $0,1 M_{\odot}$, розміри — від 0,2 до 50–70 а. о. і товщину близько 0,001 діаметра.

Розміри пилових частинок збільшуються в результаті злипання до 10 мкм; їхні орбіти стають майже коловими. Акустичні ударні хвилі, що поширюються в хмарі під час стиску протозоряного згустку речовини й загоряння молоді зорі, сприяють виникненню неоднорідностей у диску. Турбулентні вихори прискорюють рух частинок і ведуть до виникнення декількох газопилових стовпців (ущільнень) — «кілець стиску», що розпадаються потім на дрібніші. Ефект кільцевого стиску не залежить від початкової маси й розмірів диска й виникає під час формування будь-яких планетних систем.

Усередині кілець у результаті внутрішніх динамічних процесів формуються численні первісні газопилові згущення. Великі частинки приєднують до себе дрібні, виникають густі згустки протопланетної речовини — планетезималі — зародки планетних тіл масами до $6 \cdot 10^{27}$ кг і розмірами понад 1–100 км, що повільно стискуються під дією свого тяжіння.

Розпад газопилового диска з утворенням «кілець стиску» і подальшим формуванням планетезималей відбувається швидше, ніж за 10^6 років. На утворення планетних тіл витрачається не більше 10–20 % речовини протопланетного диска: основна маса космічного пилу й газу розсіюється в міжзоряному просторі.

Швидкість і напрям еволюції протопланетної хмари залежить від її маси. Раннє формування масивних планетезималей веде до нестійкості протопланетного диска, прискорює його еволюцію. Приливна взаємодія планетезималей обумовлює розподіл мас й орбіт майбутніх планет.

Під час руху навколо новонародженої зорі планетезималі створюють у просторі протопланетного диска спіральні хвилі стиску й «акумулюють» (збирають) з нього речовину. Їхня маса й розміри збільшуються до цілковитого виснаження протопланетного диска, поки вся речовина з навколишнього простору не випаде на їхню поверхню.

У навколосоряному просторі густина речовини протопланетної хмари зменшується набагато швидше, ніж на її периферії: магнітне поле обертової зорі захоплює розпечену газопилову «суміш», речовина частково акреціює уздовж магнітно-силових ліній на поверхню зорі, а частково «виштовхується» геть від неї, чому сприяє тиск електромагнітного випромінювання й потоків елементарних частинок зоряного вітру. Навколо зорі на відстані десятків її радіусів утворюється майже повністю вільна від речовини «зона прозорості».

У разі збільшення розмірів планетезималей понад 2000 км протопланетний диск перетворюється на газопилове кільце, що стончується із часом і внутрішня границя якого розділяє зону сформованих планет від зони, у якій процес планетоутворення ще не завершився.

Протягом декількох мільйонів років у швидко стискувальному протопланетному диску, що поступово дрібнішає, можуть сформуватися кілька гігантських протопланет. Сила їхнього тяжіння разом із збурювальним впливом спіральних хвиль густини помітно змінює характеристики руху протопланет і залишків речовини протопланетного диска. У результаті гальмування внаслідок тертя у речовині протопланетної хмари й резонансної взаємодії зі спіральними хвилями густини вони втрачають свою механічну енергію, розігріваються й зближаються із зорею, що формується. Взаємні збурювання руху ведуть до збільшення ексцентриситетів орбіт планетних тіл: частина протопланет починає обертатися по сильно видовжених еліптичних орбітах, а частина набуває параболічних або навіть гіперболічних орбіт й назавжди залишає планетну систему. Найбільші шанси вціліти мають протопланети, що обертаються по колових орбітах в «зоні прозорості» у безпосередній близькості від молоді зорі.

Під час «акумуляції» планетезималей механічна енергія речовини, що на них падає, перетворюється в теплову: протопланетне тіло розігрівається, і за температури понад 1500 К у центрі тіл починається виділення газів. Гравітаційний стиск збільшує температуру в надрах тіл до декількох тисяч кельвін. Розігріву протопланет сприяє потужне ударне бомбардування: між їхніми орбітами обертаються мільярди дрібних і найдрібніших планетезималей і згустків речовини. У надрах протопланет, що формуються, починаються процеси диференціації (поділу) планетних оболонок і дегазації: важкі компоненти й сполуки опускаються вниз, до центра планети, а легкі піднімаються угору, до поверхні. Тиск, густина і температура речовини біля центрів планет значно підвищуються, й речовина якісно змінюється: утворюються оболонки планет — первинне ядро й мантія, у розплавлених надрах генерується магнітне поле, енергія, що виділяється під час розшарування, гравітаційного стиску й розпаду радіоактивних елементів, шляхом конвекції переноситься до поверхні планет. Легкі речовини, спливаючи на поверхню, утворюють первинні кору (літосферу), гідросферу й атмосферу планети.

Так утворюються планетні тіла, подальша еволюція яких залежить від їхньої маси й відстані до центрального світила (зорі або планети).

Так, імовірно, сформувалася більшість відомих зараз планетних систем.

Протопланетні диски, що формуються, спостерігаються в інфрачервоному діапазоні навколо декількох сотень молодих зір. У Веги, Ліри, внутрішній діаметр диска становить 44 а. о. за зовнішнього діаметра 490 а. о. Окремі дані вказують на існування принаймні однієї вдвічі масивнішої за Юпітер планети-гіганта, що вже сформувалася, на відстані 54 а. о. від зорі. У Фомальгаут, α Південної Риби, внутрішній діаметр диска становить 51 а. о. за зовнішнього діаметра 900 а. о. Планети сформувалися також у зір δ Живописця й ϵ Ерідана — у протопланетному диску діаметром 0,8/580 а. о. на відстані 60 а. о. від зорі (маса планети близько 0,32 маси Юпітера). У центрі планетної системи NGC об'єкта 2071 (1300 св. років від Землі), яка формується, спостерігається протозоря масою близько $1 M_{\odot}$, навколо якої обертається протопланетний диск розмірами близько 30 а. о. і масою 0,01 $M_{\odot}$, у надрах якого почалося утворення планетезималей.

Через розбіжності у первісній будові й складі, масштабах й особливостях турбулентних рухів речовини усередині протопланетного диска цієї маси можуть утворитися планетні системи з різною кількістю планет, що мають різні маси й закони міжпланетних відстаней.

3. Космологія Сонячної системи

Стиск протосонячної хмари масою близько $10 M_{\odot}$ і подальше відділення протопланетного диска могло бути спричинене ударною хвилею під час спалаху наднової на відстані сотні світлових років від туманності. Вибух призвів до внесення до її складу ізотопів важких хімічних елементів — урану й торію. Початкова маса протозоряного диска становила 0,01–0,1 $M_{\odot}$.

Температура в центральній площині протопланетного диска Сонячної системи зменшувалася залежно від того, наскільки збільшувалася відстань від Сонця. Особливо сильно нагрівалася найближча до зорі «гаряча» зона хмари: на відстані в 1 а. о. температура становила 300–400 К.

Процес утворення планет земної групи в «гарячій зоні» протопланетної хмари на відстані від 0,3 до 2,5–3 а. о. від Сонця тривав близько 100 млн років.

Обертання магнітного поля молодого Сонця, світлове випромінювання й потоки елементарних частинок сонячного вітру

«вимітали» речовину з найближчих околиць Сонця, утворюючи «зону прозорості». Передовсім видалялися легкі хімічні елементи — водень і гелій, концентрація яких поступово змещувалася до границь Сонячної системи, спричиняючи розбіжності в хімічному складі планет земної групи й планет-гігантів. Зона формування землеподібних планет очистилася від первинного газу набагато раніше, ніж планетезималі «набрали» половину своєї остаточної маси. Сфероїдальні частинки-хондри з тугоплавкої силікатної речовини й пил під дією сил гравітації й електростатичного притягання почали зближатися й злипатися, утворюючи згустки хондритної речовини. Вони концентрувалися в площині газопилового диска й внаслідок тертя по спіралі поступово зближались із Сонцем. Приєднуючи до себе дрібні згустки й частинки пилу, вони збільшувалися до кілометрових розмірів і ставали планетезималами. Імовірність взаємодії численних планетезималей між собою була висока (1 зіткнення в 1000 років); за невеликої взаємної швидкості вони поєднувалися, за високої — руйнувалися на фрагменти, що швидко входили до складу інших планетезималей. Упродовж 20 тис. років у протопланетному диску утворилися сотні об'єктів розміром з Місяць; за наступні 10 млн років найбільші з них досягли розмірів Землі. Подальшому збільшенню маси, розігріву, первинній диференціації надр і подальшій еволюції планет сприяло інтенсивне ударне бомбардування: загальна маса речовини між орбітами протоВенери й протоМарса досягала 0,01 $M_{\odot}$.

Утворення планет-гігантів відбувалося в «холодній зоні» протопланетного диска на відстані від 4 до 40 а. о. від Сонця, де температура речовини туманності зменшувалася до 10–20 К у 10–20 а. о. від Сонця. Частинок воднево-гелієвих «сніжинок» і водяного льоду в цій області було в десятки разів більше, ніж порошин. Процес планетоутворення, імовірно, відбувався у два етапи. Спочатку утворилися тверді ядра: у Юпітера за 30 млн років, у Сатурна за 200 млн років, в Урана й Нептуна за 1 млрд років, після чого на ядра почав випадати (акреціювати) газ з навколишнього простору, що тривало від 1 до 10 млн років. При цьому температура зовнішніх шарів Юпітера досягала 5000 К, а Сатурна — 2000 К, що й визначило силікатний склад їхніх найближчих супутників. Низький вміст водню й гелію в атмосферах Урана й Нептуна пояснюється тим, що до моменту завершення першого етапу їх формування сонячний вітер зумів «вимести» ці гази за межі Сонячної системи.

Дехто з учених припускає, що утворення планет-гігантів зі згустків речовини протозоряної туманності почалося ще в епоху формування протосонця. Також існує гіпотеза про те, що початкові етапи формування Урана й Нептуна відбувалися значно ближче до Сонця, а орбіти їхніх планетезималей змінилися в результаті збурювальної взаємодії із праЮпітером, праСатурном й іншими планетезималями, частина яких при цьому покинула межі Сонячної системи, а інші стали супутниками планет-гігантів (Тритон, Феба й ін.) або зіштовхнулася з ними. Найбільші супутники й системи кілець орієнтовно сформувалися в акреційному диску планет-гігантів.

У проміжку між «гарячою» й «холодною» зонами протопланетної хмари з речовини загальною масою до $8 \cdot 10^{24}$ кг утворилося кілька десятків планетезималей розмірами понад 1000 км. Найбільш великі мали розміри до 8000 км, у їхніх надрах відбувалися процеси часткової диференціації речовини з утворенням залізного (залізокам'яного) ядра. Всі вони мали дуже нестійкі орбіти, що піддавалися збурювальному впливу Юпітера. У результаті гравітаційної взаємодії й зіткнень між собою й більш дрібними планетезималями протягом першого мільярда років існування Сонячної системи частина цих тіл покинула її межі. Решта змінила характеристики своїх орбіт й (або) піддалася дробленню й руйнуванню на дрібні осколки, що утворили пояс астероїдів. Частина астероїдів утворилася шляхом злипання дрібних планетезималей під час їх взаємодії (зіткнень), що вело до їх ущільнення; за рахунок радіоактивного розпаду елементів (в основному ізотопу ^{26}Al) їхні надра розігрівалися. Надалі зіткнення призвели до руйнування й дроблення батьківських тіл. Внаслідок збурювань із боку планет-гігантів їхні орбіти постійно змінювалися; у цей час у поясі астероїдів залишилася лише 1/2000 частина початкової речовини. Дрібні реліктові планетезималі могли зберегтися до нашого часу.

Кометні ядра й кентаври утворилися аналогічним шляхом в «холодній» зоні протопланетної хмари на відстані до 50 а. о. від Сонця, де вціліла величезна кількість дрібних і найдрібніших планетезималей: так виникли кометні пояси меж орбітами планет-гігантів. Значну частину кометних ядер було «викинуто» гравітаційними збурюваннями планет-гігантів, що формувалися, на околиці Сонячної системи й частково у міжзоряний простір: так утворилися пояс Койпера, сферична хмара Хілса, що оточує Сонячну систему, й квазісферична хмара Оорта.

Своєрідність характеристик руху планет: різний нахил осі обертання до площини екліптики (в Урана під кутом $97^\circ 55'$), різні періоди осевого обертання (у Венери — зворотнє обертання навколо своєї осі), можливо, обумовлено приливними взаємодіями планетезималей й (або) численними прямими й фронтальними зіткненнями великих планетезималей із дрібними на останніх стадіях утворення з речовини протопланетного диска.

Стійкість і майже колова форма орбіт більшості планет Сонячної системи, імовірно, обумовлені стабілізуювальним впливом тяжіння Сонця і Юпітера: наймасивніша планета обертається в 5 а. о. від Сонця по орбіті з малим ексцентриситетом (0,04).

IV. ЗАКРІПЛЕННЯ НОВОГО МАТЕРІАЛУ

1. Чи вдалося вченим встановити планетні системи біля інших зір?
2. Чи існують, на твій погляд, закономірності утворення планетних систем?
3. Знайдіть інформацію про гіпотези щодо виникнення Сонячної системи.

Запитання до учнів у ході викладу нового матеріалу

1. Які тіла входять до складу Сонячної системи?
2. Опишіть можливі варіанти утворення Сонячної системи.
3. Які існують закономірності формування планетних систем?

Що ми дізналися на уроці

Закономірності формування планетної системи

1. Основна маса планетної системи міститься в центральній зорі.
2. Відстань між зорею й планетами, між планетними тілами та їхніми супутниками обумовлена основними фізико-хімічними характеристиками, початковим розподілом маси, масштабами й особливостями турбулентних рухів речовини усередині протопланетного диска, збурювальними взаємодіями протопланет, що формуються, й описуються певним законом.
3. Орбіти планетних тіл й їхніх супутників еліптичні й лежать в одній площині (за винятком орбіт дрібних метеороїдів).
4. Майже всі планетні тіла обертаються навколо своєї осі й навколо центральної зорі в напрямі її осевого обертання — обертання протозоряної хмари внаслідок статистичного усереднення моменту імпульсу всіх частинок протозоряної хмари, що утворили планетні тіла й зорю.

5. Відповідно до сучасних теорій зореутворення практично всі одиночні повільнообертові зорі спектральних класів F5–M9 масою менше від $10 M_{\odot}$ повинні мати планетні системи.
6. Планетні системи повинні бути в 30–50 % зір Галактики, тобто у $30 \cdot 10^9 - 50 \cdot 10^9$ зір! Однак внаслідок низької власної світності й близькості до своїх центральних світил планетні системи являють собою досить складний об'єкт для астрономічних спостережень.
- Походження й розвиток космічних об'єктів вивчає окремий розділ астрономії — наука космогонія.

V. ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ

Читати § 17.

Урок 21/IV–1

Тема. Визначення відстаней до зір. Хімічний склад зоряної речовини. Температури, світності, розміри, маси, густини зір. Взаємозв'язок між розміром, температурою та абсолютною зоряною величиною

Цілі:

- *навчальна:* ознайомити учнів з новим типом небесних об'єктів — зорями, показати залежність спектральної класифікації зір від їх температури, взаємозв'язок між розмірами, температурою та абсолютною зоряною величиною; ввести поняття річного паралаксу й дати визначення відстаней до зір за допомогою річного паралаксу;
- *розвивальна:* продовжити ознайомлення з навколишнім Всесвітом та його найпоширенішими об'єктами — зорями, показати, яким чином, аналізуючи діаграми «Спектр — світність», «Маса — світність» вчені визначають всі фізичні характеристики зір;
- *виховна:* продовжити формування наукового світогляду учнів під час вивчення матеріалу про зорі, їх природу та основні характеристики; на основі розкриття фундаментальних природних закономірностей (причинного взаємозв'язку й взаємозумовленості явищ і процесів, переходу кількісних змін у якісні, єдності й взаємодії протилежностей) і філософських положень про матеріальну єдність і пізнанність світу під час викладу астрономічного матеріалу про зорі й основні закономірності у світі зір.

Нові поняття: зоря, класи зір, спектральні класи зір, річний паралакс.

- *Учні повинні мати уявлення про:* методи, за допомогою яких визначають фізичні характеристики зір та відстані до них.
- *Учні повинні знати:* ознаки фундаментального астрономічного поняття «зоря» як окремого типу космічних тіл, класи зір, які було виділено на основі їхніх головних фізичних характеристик.
- *Учні повинні вміти:* визначати відстані до зір за їх річним паралаксом, розв'язувати задачі на взаємозв'язок між розміром, температурою та абсолютною зоряною величиною.
- *Міжпредметні зв'язки:* фізика, математика, географія, література, історія.

Демонстрації:

- 1) Діаграма Герцшпрунга–Рессела.
- 2) Схеми внутрішньої будови зір.
- 3) Схеми термоядерних реакцій у надрах зір.
- 4) Фотографії різних зір.
- 5) Таблиці. Порівняльні розміри зір.

Обладнання: комп'ютер; мультимедійний проектор, екран; презентація «Звичайні зорі».

План заняття

Час	Метод навчання	Зміст роботи	Наочне приладдя, ТЗН
0,5 хв	Бесіда	Організаційний момент Перевірка готовності учнів до уроку. Стимулювання діяльності учнів, забезпечення їхньої загальної готовності, забезпечення своєчасного й організованого початку уроку	

Час	Метод навчання	Зміст роботи	Наочне приладдя, ТЗН
1 хв	Фронтальне опитування	Актуалізація знань учнів	
25 хв	Лекція	Пояснення нового матеріалу 1) Зорі. Основні фізичні характеристики зір. 2) Визначення відстаней до зір. 3) Основні характеристики зір. • Хімічний склад. • Хімічний склад та еволюція Всесвіту. • Температури, світності, розміри, маси, густини зір	Презентація, таблиці
15 хв	Робота в групах	Закріплення нового матеріалу Розв'язування задач	
2 хв		Підбиття підсумків уроку	
1 хв		Домашнє завдання Читати § 21 (пп.1, 2), вивчити формули	

ХІД УРОКУ

I. ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ МОМЕНТ

II. МОТИВАЦІЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

Учитель зачитує уривок:

*...Сириус, дерзкий сапфир, синим горящий огнем,
Альдебарана рубин, алмазная цепь Ориона
И уходящий в моря призрак серебристый — Арго.*

Ці рядки Івана Бунін присвятив зорям.

Картина зоряного неба постійно вражає нас своєю величчю і красою. Сенека, один із грецьких мудреців, якось зауважив: «Якби на Землі було тільки одне місце, звідки видно зоряне небо, то до нього з усіх кінців йшли б натовпи людей, які мріяли побачити це диво».

Після оголошення цілей та задач уроку учням пропонується дати відповіді на запитання з тем, отриманих ними раніше на уроках природознавства, фізики й астрономії, про природу Сонця. У ході опитування учням обов'язково слід нагадати про основні методи астрономічних досліджень (кутомірних, фотометричних, фотографічних й особливо спектральних) і формули, що дозволяють обчислювати основні фізичні характеристики космічних об'єктів (космічні відстані, абсолютну зоряну величину, світність, масу, розміри тощо) на основі результатів вищезгаданих спостережень (тема «Методи астрономічних досліджень»).

III. АКТУАЛІЗАЦІЯ ОПОРНИХ ЗНАНЬ УЧНІВ

1. Які методи вивчення віддалених об'єктів ви знаєте?
2. Які фізичні характеристики небесних тіл можна визначити за допомогою метода спектрального аналізу?
3. Як у геометрії можна визначити відстань до віддалених об'єктів?
4. Назвіть природні небесні тіла, природу яких вивчає астрономія. Що вам відомо про зорі?

IV. ПОЯСНЕННЯ НОВОГО МАТЕРІАЛУ

1. Зорі. Основні характеристики зір

Зорі — просторово відокремлені, гравітаційно зв'язані, непрозорі для випромінювання маси речовини в інтервалі від 10^{29} до 10^{32} кг ($0,005$ – $100 M_{\odot}$), у надрах яких у значних масштабах відбувалися, відбуваються або відбуватимуться термоядерні реакції з перетворення водню в гелій.

1. Зорі — окремий самостійний тип космічних тіл, що якісно відрізняються від інших космічних об'єктів.
2. Зорі — один із найпоширеніших (можливо, найпоширеніший) тип космічних тіл.
3. Зорі містять у собі до 90 % видимої речовини в тій частині Всесвіту, у якій ми живемо і яка доступна для досліджень.
4. Всі основні характеристики зір (розміри, світність, енергетика, час «життя» і кінцеві етапи еволюції) взаємозалежні й обумовлені значенням маси зір.
5. Зорі майже цілком складаються з водню (70–80 %) і гелію (20–30 %); частка всіх інших хімічних елементів становить від 0,1 до 4 %.
6. У надрах зір відбуваються термоядерні реакції.
7. Існування зір обумовлено рівновагою сил тяжіння й променевого (газового) тиску.
8. Закони фізики дозволяють обчислювати всі основні фізичні характеристики зір, спираючись на результати астрономічних спостережень.
9. Основним, найбільш продуктивним методом дослідження зір є спектральний аналіз їх випромінювання.

2. Визначення відстаней до зір

Метод річного паралаксу

Річним паралаксом назвемо кут, під яким зі світила видно перпендикулярний до променя зору радіус земної орбіти. Позначимо річний паралакс через π , астрономічну одиницю — через α .

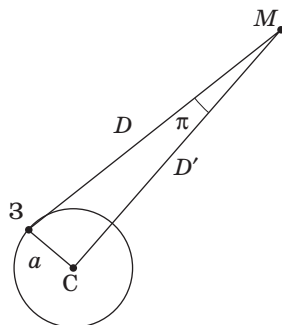


Рис. 21.1

Якщо зоря M перебуває в полюсі екліптики (рис. 21.1) і D — її відстань до Землі, а D_1 — відстань до Сонця, то ці відстані пов'язані з річним паралаксом відношеннями:

$$D = \frac{\alpha}{\sin \pi}; \quad D_1 = \frac{\alpha}{\operatorname{tg} \pi}.$$

В астрономії використовують спеціальну одиницю відстані до зір — парсек (пк). Зоря, яка перебуває на відстані 1 ПК, має паралакс, що дорівнює $1''$. Згідно з формулою (1), $1 \text{ ПК} = 206265 \text{ а. о.} = 3 \cdot 10^{16} \text{ м}$.

Крім цього, використовують ще одну спеціальну одиницю відстані — світловий рік. Він дорівнює відстані, яку світло долає протягом року, і становить 0,307 ПК, або $9,46 \cdot 10^{15} \text{ м}$. Найближча до Сонячної системи зоря — червоний карлик 12-ї зоряної величини Проксима Центавра — має паралакс $0,762''$, тобто відстань до неї становить 1,3 ПК (або 4,3 світового року).

Фотометричний метод визначення відстані

Освітленість, створювана однаковими за потужністю джерелами світла, обернено пропорційна квадратам відстані до них. Це означає, що видимий блиск однакових світил (тобто освітленість, створювана на Землі в одиничній площадці, перпендикулярній до променів світла) може правити за міру відстані до них. Вираження освітленості в зоряних величинах (m — видима, M — абсолютна зоряна величина) підводить до основної формули фотометричної відстані — r_ϕ (ПК):

$$\lg r_\phi = 0,2(m - M) + 1$$

Основним способом оцінювання абсолютної величин зір є спектральний: у спектрах зір одного і того ж спектрального класу ви-

явлено особливості, які вказують на їх абсолютні зоряні величини (найчастіше — посилення ліній іонізованих атомів відповідно до збільшення світності зір).

3. Основні характеристики зір

Хімічний склад зоряної речовини

Життя зір залежить від хімічного складу речовини. Історія вивчення хімічного складу зір починається з середини XIX ст. Ще 1835 р. французький філософ Огюст Конт писав, що хімічний склад зір назавжди залишиться для нас таємницею. Але незабаром було застосовано метод спектрального аналізу, який дозволяє дізнатися, з чого складаються не тільки Сонце та близькі зірі, а й найвіддаленіші галактики і квазари. На зорях не виявлено жодного невідомого хімічного елемента. Єдиний елемент — гелій — було відкрито спочатку на Сонці і лише потім на Землі. Найбільше в зорях міститься водню. Приблизно втричі менше в них гелію. Щоправда, кажучи про хімічний склад зір, найчастіше мають на увазі вміст елементів, важчих від гелію. Частка важких елементів невелика (близько 2 %), але вони, за висловом американського астрофізика Девіда Грея, мов дрібка солі в тарілці супу, надають особливого смаку роботі дослідника зір. Від їх кількості залежать і розмір, і температура, і світність зір.

Після водню і гелію в зорях найбільш поширені ті самі елементи, які входять до хімічного складу Землі: кисень, вуглець, азот, залізо та ін. Хімічний склад у зір різного віку виявився різним. У найстаріших зір частка елементів, важчих від гелію, значно менше, ніж на Сонці. У деяких зорях вміст заліза менше від сонячного в сотні і тисячі разів. А от зір, де цих елементів було б більше, ніж на Сонці, порівняно небагато. Ці зірі (багато з них подвійні), як правило, є незвичайними і за іншими параметрами: температурою, напруженістю магнітного поля, швидкістю обертання. Деякі зірі виділяються за умістом якого-небудь одного елемента або групи елементів. Такі, наприклад, барієві або ртутно-марганцеві зірі. Причини подібних аномалій поки малозрозумілі.

Хімічний склад — один із фундаментальних параметрів зір, від якого залежать її будова і спектр випромінювання. Вивчення хімічного складу зір дозволяє розв'язати загальнонаукові проблеми, такі як походження хімічних елементів, еволюція зір, походження і розвиток Всесвіту.

4. Хімічний склад та еволюція Всесвіту

Результати спектрального аналізу дозволяють відтворити картину походження елементів, еволюції в космосі й уточнити деякі фундаментальні величини, важливі для розуміння еволюції Всесвіту загалом.

Вивчення маломасивних зір, що сформувалися на різних етапах життя Галактики, еволюція яких протікає повільно, дозволяє побудувати емпіричні залежності вмісту елементів від часу. Порівняння їх із теоретично передбаченими — це чудова перевірка і теорії зоряної еволюції, і ядерної фізики, і космологічних моделей Всесвіту. Наведемо кілька прикладів.

1. Другим за поширеністю елементом в космосі є гелій. Його вміст практично однаковий в найбільш старих зорях Галактики (22 % загальної маси речовини), на Сонці (26,8 %) і в міжзоряному середовищі (23–30 %) і збігається з виходом первинного гелію при Великому Вибуху. Це, з одного боку, підтверджує сучасні уявлення про зоряну еволюцію, тому що хоча гелій постійно утворюється під час горіння водню в надрах зір, але далі він або повністю згоряє, перетворюючись на більш важкі елементи, або у вигляді гелієвих карликів залишається в законсервованому стані і не бере участь у кругообігу речовини. З іншого боку, це підтвердження моделі Всесвіту.
2. Розширення Всесвіту підтверджується спостережними фактами, але чи буде воно тривати нескінченно відповідно до моделі відкритого Всесвіту, чи зміниться стисканням, як пророкує модель закритої Всесвіту? Це залежить від сучасної середньої густини речовини в космосі. Якщо вона менше або дорівнює критичній $\rho_0 = 10^{-26} \text{ кг/м}^3$, то Всесвіт відкрито. За сучасними уявленнями, його частина, що спостерігається, повинна бути плоскою, а значить, повинна збігатися з ρ_0 ? Прямі вимірювання дають $\rho \approx 0,005\rho_0$, але ця величина визначається масою тільки випромінювальної речовини. На існування темної, або прихованої, маси, що перевищує приблизно в 10 разів масу видимої речовини, вказує вивчення скупчень галактик. Виявляється, природу прихованої маси можна зрозуміти шляхом аналізу вмісту дейтерію у Всесвіті. Вихід первинного дейтерію чутливий до густини звичайної речовини, протонів, нейтронів і електронів: чим вона вища, тим менше утворюється дейтерію. Якби в епоху синтезу вся речовина була звичайною і її густина відповідала критичній, то дейтерію мало утворитися на шість

порядків менше від сучасних спостережуваних значень. Звідси треба зробити висновок, що тільки близько 1/10 маси належало звичайній речовини, а інша мала б перебувати в якійсь екзотичній формі, наприклад у вигляді слабковзаємодіючих частинок типу нейтрино. Це співвідношення має зберегтися до цієї епохи.

3. Вихід первинного He за відомої величини ρ_0 залежить від того, скільки існує типів нейтрино. Якщо припустити, що їх більше чотирьох, то бачимо, що вміст He у Всесвіті виявляється менше від первинного, що пояснити неможливо. Як бачимо, зоряна спектроскопія допомагає встановити таку фундаментальну характеристику природи, як число типів нейтрино.
4. Описана схема походження елементів у загальному підтверджується даними спостережень, хоча залишаються проблеми, які вимагають подальшого вивчення. Досі не виявлені об'єкти, хімічний склад яких збігався б із первинним, тобто об'єкти, що складаються тільки з H і He. У найстаріших зорях Галактики вміст металів на три-чотири порядки нижче від сучасного, але не нульовий. У квазарах, які вважаються зародками галактик і які утворилися незабаром після початку розширення Всесвіту, вже є вуглець, азот та інші елементи, та їх вміст близький до сучасних у нашої Галактиці!

5. Температури, світності, розміри, маси, густини зір. Взаємозв'язок між розміром, температурою та абсолютною зоряною величиною

Поверхнева температура зорі — температура чорного тіла, яке має світність зорі. На сьогодні поверхнева температура зір вимірюється методами спектрального аналізу. Межі поверхневої температури зір значні. Існують дуже холодні зорі, температура поверхні яких близько 2000 K і навіть менше, і дуже гарячі зорі, у яких температура доходить до 50000 K. Поверхнева температура Сонця дорівнює 5760 K. Холодні зорі випромінюють переважно у червоній та інфрачервоній областях спектра, наприклад Бетельгейзе — α Оріона, m Цефея. Гарячі зорі випромінюють в основному у видимій та ультрафіолетовій областях спектра, наприклад Вега — α Ліри, ядра планетарних туманностей. Непрямою характеристикою розподілу енергії в спектрі зорі є її колір, холодні зорі видаються червонуватими, а гарячі виявляються білими або блакитними.

За спектром космічних тіл можна визначити їх температуру — згідно із законом Вина: довжина хвилі, на яку припадає максимум

спектральної густини енергетичної світності, обернено пропорційна до температури тіла:

$$\lambda = \frac{b}{T},$$

де $b = 2,898 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$ — стала Вина.

В астрономії світність — кількість випромінюваної астрономічним об'єктом (зорею, галактикою і т. п.) енергії в одиницю часу. Вимірюється в абсолютних одиницях (СІ — Вт; СГС — ерг/с) або у відносних (наприклад, світності Сонця). Світність не залежить від відстані до об'єкта, від нього залежить тільки видима зоряна величина. Світність — одна з найважливіших зоряних характеристик, що дозволяє порівнювати між собою різні типи зір на діаграмах «спектр—світність», «маса—світність». Світність зорі можна обчислити за формулою:

$$L = 4\pi R^2 \sigma T^4.$$

Світність зір — кількість енергії, що випромінюється їх поверхнею за одиницю часу, залежить від швидкості виділення енергії і визначається законами теплопровідності, розмірами і температурою поверхні зорі. Різниця у світності може досягати 250 000 000 000 разів! Зорі великої світності називають зорями-гігантами, зорі малої світності — зорями-карликами. Найбільшу світність має блакитний надгігант — зоря Пістолет у сузір'ї Стрільця — $10\,000\,000\,L_{\odot}$! Світність червоного карлика Проксими Центавра — близько $0,000055\,L_{\odot}$.

Відстані до зір такі великі, що жодні астрономічні інструменти не дають можливості спостерігати безпосередньо їх диски. Лише у деяких зір кутові розміри диска перевищують роздільну здатність великих телескопів, що дає можливість через фотографування з дуже короткими експозиціями «відновити» зображення зорі. Для визначення радіуса зір використовують такі методи:

1. За відомої світності зорі L та її ефективної температури T_e радіус зорі визначають у припущенні, що її випромінювання близьке до випромінювання абсолютно чорного тіла:

$$R = T_e^{-2} \left(\frac{L}{4\pi\sigma} \right)^{1/2},$$

де σ — стала Стефана–Больцмана.

2. Кутовий радіус α зорі знаходять з інтерференційної картини, яку отримують в результаті перекриття зображень зорі, побу-

дованих двома об'єктами або частинами одного об'єкта зоряного інтерферометра:

$$\alpha = \frac{\lambda}{1,7d} \cdot 206265'',$$

де кут виражений у секундах дуги, λ — довжина хвилі випромінювання (см), d — відстань у сантиметрах між центрами об'єктів, за якої інтерференційні смуги в зображенні зорі перестають спостерігатися.

3. Під час покриття зір Місяцем фотометричні спостереження дають можливість визначити кутовий розмір зорі за характером дифракції світла на краю місячного диска. Цей метод прийнятий лише для декількох яскравих зір, які затьмарює Місяць.
4. У разі затемнення змінних зір розміри компонентів подвійної системи можна визначити з аналізу кривої блиску.

Аналіз наявних даних показує, що розміри зір коливаються від розмірів, порівнянних з діаметром Сонячної системи (зорі-надгіганти), до розмірів планет (білі карлики) або навіть до декількох кілометрів (нейтронні зорі). На головній послідовності зорі мають тим більші розміри, чим більше їх маси або T_e . У процесі еволюції зорі неодноразово зростають, коли перетворюються в червоні гіганти або надгіганти. На кінцевій стадії еволюції розміри зір різко зменшуються (білі карлики, нейтронні зорі, чорні діри).

У наведений нижче список включені деякі найбільші за розміром відомі зорі. Як одиницю радіуса зорі використано екваторіальний радіус Сонця — 695 500 км.

Зоря		Радіус, $R_{\odot}$
№	Назва	
1	VY Великого Пса	1800–2100
2	VV Цефея А	1600–1900
3	μ Цефея («гранатова зоря» Гершеля)	1420
4	Антарес (α Скорпіона)	700
5	Бетельгейзе (α Оріона)	650 (800)
6	Мира А (о Кита)	400
7	Денеб (α Лебеда)	220
8	Ригель (β Оріона)	70
9	Мірфак (α Персея)	60
10	Альдебаран (α Тільця)	43
11	Кохаб (β Малої Ведмедиці)	41

За світністю зір можна визначити їхні розміри та маси:

$$\frac{L_*}{L_\odot} = \left(\frac{T_*}{T_\odot} \right)^4 \cdot \left(\frac{R_*}{R_\odot} \right)^2, \quad R_* = \sqrt{\frac{L_* \cdot T_\odot^4}{L_\odot \cdot T_*^4}},$$

$$R_\odot = 695\,300\,000 \text{ м}, \quad M_\odot = 1,989 \cdot 10^{30} \text{ кг}, \quad T_\odot = 5770 \text{ К}$$

$$\frac{L_*}{L_\odot} \approx \left(\frac{M_*}{M_\odot} \right)^4, \quad M_* = M_\odot \sqrt[4]{\frac{L_*}{L_\odot}}.$$

Середні густини зір змінюються в інтервалі від 10^{-6} до 10^{14} г/см^3 — у 10^{20} разів!

Взаємозв'язок між розміром, температурою та абсолютною зоряною величиною

Формула Погсона пов'язує блиск світил з їх зоряними величинами:

$$\lg \left(\frac{L}{L_\odot} \right) = 0,4 \cdot (4,77 - M),$$

$$\lg \left(\frac{L}{L_\odot} \right) = -2 \lg \pi'' - 0,4m - 0,1 + 0,4A(r).$$

Таким чином, визначивши абсолютну зоряну величину, можна визначити світність, розміри та масу зорі.

В. ЗАКРІПЛЕННЯ НОВОГО МАТЕРІАЛУ

1. Визначте температуру зорі, максимум випромінювання якої припадає на область спектра близько: а) $\lambda = 45 \text{ мкм}$; б) $\lambda = 30 \text{ мкм}$.
2. Чому дорівнюють розміри й маса зорі, якщо: 1) її температура $T = 10^4 \text{ К}$, а світність $L = 1500L_\odot$; 2) $T = 3000 \text{ К}$ і $L = 600L_\odot$; 3) $T = 6000 \text{ К}$, $L = 1,5L_\odot$?
3. У скільки разів зоря Регул А (α Лева) посиляє до нас більше світла, ніж другий компонент цієї подвійної зоряної системи Регул В, якщо їхні зоряні величини відповідно дорівнюють: $m_1 = 1,34$ і $m_2 = 7,64$? (Відповідь: у 331 раз.)
4. Розміри зір однакові; світність першої — $40L_\odot$, другої — $100L_\odot$, третьої — $70L_\odot$. Яка із зір має найбільшу температуру?
5. Як збільшилася б світність Сонця, якби його маса збільшилася в 5 разів? Чи стало б Сонце від цього більш довговічним?

Запитання до учнів у ході викладу нового матеріалу

1. Річний паралакс зорі дорівнює $0,5'$. Чому дорівнює відстань до зорі (у парсеках)?
а) $0,5 \text{ пк}$; б) 2 пк ; в) 4 пк ; г) $3,26 \text{ пк}$;
д) визначити неможливо.
2. Блиск зорі 6-ї величини порівняно із блиском зорі 1-ї величини: а) у 100 разів більше; б) у 100 разів менше; в) у 5 разів більше; г) у 5 разів менше; д) визначити неможливо.
3. Абсолютна зоряна величина дорівнює видимій, якщо зоря розташована на відстані:
а) 1 пк ; б) 2 пк ; в) 10 пк ; г) 100 пк ;
д) 10 світлових років.
4. Ефективна температура зір з однаковими радіусами відрізняється в 2 рази. Яким буде співвідношення їхніх болометричних світностей?
а) $0,5$; б) 4 ; в) 16 ; г) $0,04$;
д) 625 .
6. Напишіть такі типи спектральних ліній у порядку їхньої появи у разі зменшення температури зорі: а) дуже сильні лінії водню; б) іонізований гелій; в) смуги молекул титану; г) нейтральний гелій; д) нейтральні метали; е) іонізовані метали.
(Відповідь: б; г; а; е; д; в.)
7. Доберіть для перерахованих нижче зоряних характеристик ті, які можуть бути отримані під час такого аналізу їхніх спектрів:
а) доплерівський зсув;
б) спектральний клас;
в) форма ліній;
г) характеристики ліній.
1. Хімічний склад.
2. Температура.
3. Променева швидкість.
4. Густина газу, осьове обертання, магнітне поле.
(Відповідь: I в; II б; III а; IV г.)
8. Чи можна за спектром зорі визначити характеристики її: а) корони; б) хромосфери; в) фотосфери; г) зони конвекції; д) зони променистого переносу; е) зони термоядерних реакцій?

Що ми дізналися на уроці

1. Зорі — просторово відокремлені, гравітаційно зв'язані, непрозорі для випромінювання маси речовини в інтервалі від 10^{29}

до 10^{32} кг ($0,005\text{--}100 M_{\odot}$), у надрах яких у значних масштабах відбувалися, відбуваються або відбуватимуться термоядерні реакції з перетворення водню в гелій.

- Зоря, яка перебуває на відстані 1 пк, має паралакс, рівний $1''$. $1 \text{ пк} = 206\,265 \text{ а. о.} = 3 \cdot 10^{16} \text{ м}$.
- Визначення відстані до зорі фотометричним методом $\lg r_{\phi} = 0,2(m - M) + 1$.
- Хімічний склад — один із фундаментальних параметрів зорі, від якого залежать її будова і спектр випромінювання зорі. Вивчення хімічного складу зір дозволяє розв'язати загальнонаукові проблеми, такі як походження хімічних елементів, еволюція зір, походження і розвиток Всесвіту.
- За спектром космічних тіл можна визначити їх температуру згідно із законом Вина: довжина хвилі, на яку припадає максимум спектральної густини енергетичної світності, обернено пропорційна до температури тіла:

$$\lambda = \frac{b}{T},$$

де $b = 2,898 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$ — стала Вина.

- Розмір зір можна визначити за формулою:

$$R = T_e^{-2} \left(\frac{L}{4\pi\sigma} \right)^{1/2},$$

де σ — стала Стефана—Больцмана.

- Масу зір можна визначити за формулою:

$$\frac{L_*}{L_{\odot}} \approx \left(\frac{M_*}{M_{\odot}} \right)^4, \quad M_* = M_{\odot} \sqrt[4]{\frac{L_*}{L_{\odot}}}.$$

VI. ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ

Читати § 21 (пп. 1, 2), вивчити формули.

Урок 22/IV–2

Тема. Спектральна класифікація зір. Діаграма Герцшпрунга–Рессела. Джерела енергії зір. Температура у надрах зір. Внутрішня будова зір

Цілі:

- навчальна:** продовжити вивчення небесних об'єктів — зір, ввести поняття спектральної класифікації та показати залежність спектральної класифікації зір від їх температури, взаємозв'язок між розмірами, температурою та абсолютною зоряною величиною; навчити учнів визначати світність, температуру, розмір зорі тощо за допомогою діаграми Герцшпрунга—Рессела; розглянути питання, яким чином визначають температуру в надрах зір; розглянути природу джерела зір;
- розвивальна:** продовжити ознайомлення з навколишнім Всесвітом та його найпоширенішими об'єктами — зорями, показати, яким чином, аналізуючи діаграми «Спектр — світність», «Маса — світність», вчені визначають всі фізичні характеристики зір;
- виховна:** продовжити формування наукового світогляду учнів під час вивчення матеріалу про зорі, їхньої природи та основних характеристик; на основі розкриття фундаментальних природних закономірностей (причинного взаємозв'язку й взаємозумовленості явищ і процесів, переходу кількісних змін у якісні, єдності й взаємодії протилежностей) і філософських положень про матеріальну єдність і пізнаванність світу під час викладу астрономічного матеріалу про зорі й основні закономірності у світі зір.

Нові поняття: зоря, класи зір, спектральні класи зір, спектральний паралакс.

- Учні повинні мати уявлення:** про спектральні класи і світності; зорі з різними температурами.
- Учні повинні знати:** спектральну класифікацію зір, поняття світності, спектрального паралаксу.
- Учні повинні вміти:** визначати відстані до зір за їх річним паралаксом, розв'язувати задачі на взаємозв'язок між розміром, температурою та абсолютною зоряною величиною; обґрунтовувати природу джерела зір, розв'язувати задачі на взаємозв'язок між розміром, температурою та абсолютною зоряною величиною зорі.
- Міжпредметні зв'язки:** фізика, математика, географія, література, історія.

Демонстрації:

- Діаграма Герцшпрунга–Рессела.
- Схеми внутрішньої будови зір.
- Схеми термоядерних реакцій у надрах зір.
- Фотографії різних зір.
- Таблиці. Порівняльні розміри зір.

Обладнання: комп'ютер; мультимедійний проектор, екран; презентація «Звичайні зірі».

План заняття

Час	Метод навчання	Зміст роботи	Наочне приладдя, ТЗН
0,5 хв	Бесіда	Організаційний момент Перевірка готовності учнів до уроку. Стимулювання діяльності учнів, забезпечення їхньої загальної готовності, своєчасного та організованого початку уроку	

Час	Метод навчання	Зміст роботи	Наочне приладдя, ТЗН
1 хв	Фронтальне опитування	Актуалізація знань учнів	
25 хв	Лекція	Пояснення нового матеріалу 1) Класифікація зір за спектрами. 2) Ознайомлення з найважливішими законами мірностями у світі зір за діаграмами «Спектр—світність». 3) Внутрішня будова зір	Презентація, таблиці
15 хв	Робота в групах	Закріплення нового матеріалу Виконання практичної роботи	
2 хв		Підбиття підсумків уроку	
1 хв		Домашнє завдання Читати § 21 (п. 3-5)	

ХІД УРОКУ

І. ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ МОМЕНТ

ІІ. АКТУАЛІЗАЦІЯ ОПОРНИХ ЗНАНЬ УЧНІВ

1. Як учені змогли визначити відстані до зір?
2. Які фізичні параметри зорі можна визначити за допомогою річного паралакса? Наведи формули.

ІІІ. ПОЯСНЕННЯ НОВОГО МАТЕРІАЛУ

1. Класифікація зір за спектрами

Під час викладу матеріалу про спектри зір слід звернути увагу учнів на те, що майже всі основні фізичні характеристики зір визначають на основі аналізу їх спектра. Спектральний аналіз зоряного випромінювання свідчить про подібність їх складу до хімічного складу Сонця і про відсутність невідомих на Землі хімічних елементів. Відмінності в зовнішньому вигляді спектрів різних класів зір свідчать про відмінності їх фізичних характеристик. Температура, наявність та швидкість обертання, напруженість магнітного поля і хімічний склад зір визначають на основі спектральних спостережень. Закони фізики дозволяють зробити висновки про масу зір, їхній вік, внутрішню будову і енергетику, докладно розглянути всі етапи еволюції зір.

Майже усі спектри зір є спектрами поглинання. Відносна кількість хімічних елементів є функцією температури.

На сьогодні в астрофізиці прийнято єдину класифікацію зоряних спектрів (див. таблицю). За особливостями спектрів: наявністю та інтенсивністю атомарних спектральних ліній і молекулярних смуг, кольором зорі і температурою її випромінювальної поверхні зорі розділені на класи, які позначають буквами латинського алфавіту:



Кожен клас зір поділяється на десять підкласів (A0...A9). Спектральні класи від O0 до F0 називаються «ранніми»; від F до M9 — «пізніми». Деякі вчені відносять зорі класів R, N до класу G. Ряд зоряних характеристик позначається додатковими маленькими літерами: у зір-гігантів перед класом ставлять літеру «g», у зір-карликів — «d», у надгігантів — «c», у зір з лініями випромінювання в спектрі — буква «e», у зір з незвичайними спектрами — «p» і т. ін. Сучасні зоряні каталоги містять спектральні характеристики сотень тисяч зір та їх систем.

Запис основних спектральних класів легко запам'ятати за приказкою, причому російською: «Вообразите, один бедный англичанин финики жевал, как морковь, — разве не смешно?»



Клас	Температура, К	Колір	Характерні спектральні лінії	Типові зорі
W	до 100000	Блакитні	Зорі типу Вольфа–Райє з лініями випромінювання у спектрі	S Золотої Риби
O	25000–35000	Блакитно-білі	Лінії поглинання He^+ , Ne^+ , He , Mg^+ , Si^{++} , Si^{+++} (знак + означає ступінь іонізації атомів цього хімічного елемента)	z Корми, l Орiona, l Персея
B	15000–25000	Біло-блакитні	Лінії поглинання He^+ , He , H , O^+ , Si^{++} посилюються до класу A; помітні слабкі лінії H , Ca^+	ε Орiona, α Діви, g Орiona

Клас	Температура, К	Колір	Характерні спектральні лінії	Типові зорі
A	10000	білі	Лінії поглинання H, Ca ⁺ інтенсивні й посилюються до класу F, з'являються слабкі лінії металів	α Великого Пса, α Ліри, g Близнюків
F	7500	жовтуваті	Лінії поглинання Ca ⁺ , H, Fe ⁺ кальцію та металів посилюються до класу G. Виникають та посилюються лінії кальцію 4226A і полоса вуглеводню	δ Близнюків, α Малого Пса, α Персея
G	6000	жовті	Лінії поглинання кальцію H і Ca ⁺ інтенсивні лінії 4226A і лінія заліза досить інтенсивні; численні лінії металів; лінії водню слабшають; інтенсивна смуга G	Сонце, α Візничого
K	4500	помаранчеві	Лінії поглинання металів, Ca ⁺ , 4226A інтенсивні, лінії водню мало помітні. З підкласу K5 спостерігаються смуги поглинання окису титану TiO	α Волопаса, β Близнюків, α Тільця
R	3000–5500		Лінії поглинання Ca ⁺ , багатьох металів і смуги поглинання молекул вуглецю	R Північної Корони
N	3000–5500		Потужні смуги поглинання молекул окису цирконію (ZrO)	
S	3000–5500		Смуги поглинання молекул вуглецю C ₂ і ціану CN	
M	2000–3000	червоні	Потужні смуги поглинання молекул окису титану TiO, VO та інших молекулярних сполук. Помітні лінії поглинання металів Ca ⁺ , 4226A; полоса G слабшає	α Оріона, α Скорпіона, θ Кита, Проксима Центавра
P			Планетарні туманності	
Q			Нові зорі	

Ідея зв'язати між собою два основних параметри зорі виникла 1913 р. у двох вчених, причому вони вели роботи незалежно один від одного. Йдеться про голландського астронома Ейнара Герцшпрунга і американського астрофізика Генрі Норріса Ресселла.

Діаграма Герцшпрунга–Рассела (діаграма «Колір–зоряна величина») показує залежність між абсолютною зоряною величиною, світністю, спектральним класом і температурою поверхні зорі. Несподіваним є той факт, що зорі на цій діаграмі розташовуються не випадково, а утворюють добре помітні ділянки (див. рис. 22.1).

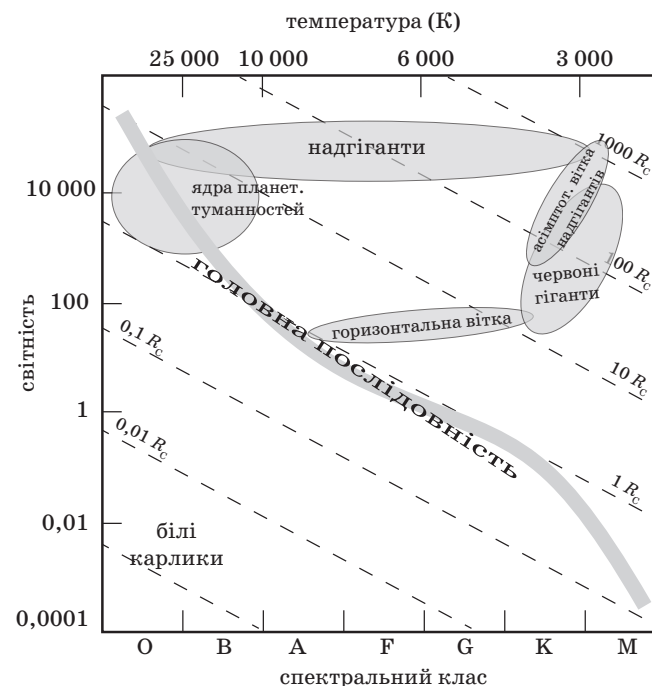


Рис. 22.1. Діаграма Герцшпрунга–Рассела

2. Ознайомлення з найважливішими закономірностями у світі зір за діаграмами «Спектр–світність»

Головна послідовність

На діаграмі Г–Р більшість зір розміщується уздовж діагональної лінії, що йде знизу вгору і зліва направо. Ця смуга називається Головною послідовністю. Зорі, що входять до її складу, називаються зорями Головної послідовності. Сонце належить саме до цієї

групи. Зорі Головної послідовності перебувають у найбільш «спокійній фазі» свого існування. У надрах їх ядер атоми Гідрогену переміщуються, утворюється гелій. Фаза Головної послідовності становить 90 % часу існування зорі. Зі 100 зір 90 знаходяться саме в цій фазі, хоча розподіляються по різних позиціях в залежності від температури і світності.

Головна послідовність являє собою «вузьку область». Це свідчить про те, що зорі протягом життя зберігають баланс між силою тяжіння, яка тягне всередину, і силою, що утворюється в результаті ядерних реакцій, — вона тягне до зовнішньої сторони зони. Зоря, подібна до Сонця, з поверхневою температурою, яка дорівнює 6000 °С, для підтримки балансу повинна мати абсолютну зоряну величину порядку +4,7. Це впливає з діаграми Г—Р.

Червоні гіганти та білі карлики

Червоні гіганти знаходяться у верхній зоні праворуч від розташованої із зовнішнього боку Головної послідовності. Характерною ознакою цих зір є дуже низька температура (приблизно 3000 °С), але при цьому вони яскравіше за зорі, що мають ідентичну температуру і розташовані в Головній послідовності.

Природно, постає питання: якщо енергія, випромінювана зорею, залежить від температури, то чому ж зорі однакової температури мають різний ступінь світності. Пояснення слід шукати у розмірі зір. Червоні гіганти більш яскраві тому, що їх поверхня випромінює набагато більше, ніж у зір з Головної послідовності.

Невипадково цей тип зір дістав назву «гіганти». Дійсно, їх діаметр може перевищувати діаметр Сонця в 200 разів, ці зорі можуть займати простір в 300 мільйонів кілометрів, що вдвічі більше відстані від Землі до Сонця!

Білі карлики — дуже гарячі, але зовсім неяскаві зорі. Попри те, що вони мають однакову температуру з великими і гарячими біло-блакитними зорями Головної послідовності, білі карлики набагато менше їх за розмірами. Це дуже густі і компактні зорі, вони в 100 разів менші від Сонця, їх діаметр приблизно такий самий, як земний. Можна навести яскравий приклад високої густини білих карликів — один кубічний сантиметр матерії, з якої вони складаються, повинен важити близько однієї тонни!

Діаграми Г—Р і зоряні скупчення

Цікаво розглянути складові зоряних скупчень на діаграмі Г—Р. Припустімо, що всі зорі скупчень розташовані на однаковій

від нас відстані. Звідси випливає, що різниця в ступені світності залежить не від віддаленості від нас, а від якихось «внутрішніх» причин. Для побудови діаграми Г—Р використовуємо замість абсолютної зоряної величини відносну (вона легше обчислюється). Що стосується питання розподілу зір в скупченні, можна скласти кілька варіантів діаграми Г—Р. Наприклад, діаграми розсіяних зоряних скупчень М8 чи NGC 2264 будуть значно відрізнятися від «стандартних».

Зорі головної послідовності більшою мірою розпорошені, особливо в нижній зоні. Це пов'язано з тим, що зорі розсіяних скупчень відносно молоді і мають вік від декількох десятків до сотень мільйонів років. За такий короткий період часу менш великі й яскраві зорі не встигають «стабілізуватися», вони еволюціонують дуже повільно. В принципі, це зорі «до-послідовності».

Потім ці зорі проходять ще одну фазу, на діаграмі вона знаходиться в правій частині Головної послідовності. У міру руху до цієї фази зорі поступово здобувають рівновагу і стабільність.

Кульові зоряні скупчення

Під час складання діаграм Г—Р кульових зоряних скупчень, а в них знаходяться в основному старі зорі, дуже складно визначити Головну послідовність. Її сліди фіксуються в основному в нижній зоні, де концентруються більш холодні зорі. Це пов'язано з тим, що гарячі і яскраві зорі вже пройшли стабільну фазу свого існування і переміщуються вправо, в зону червоних гігантів, а якщо минули її, то в зону білих карликів. Якби люди були в змозі простежити за своє життя всі еволюційні стадії зірки (використовуючи діаграму Г—Р), вони змогли б побачити, як вона змінює свої характеристики.

Наприклад, коли водень в ядрі зорі припиняє горіти, температура в зовнішньому шарі зорі знижується, сам шар розширюється. Зоря виходить з фази Головної послідовності і прямує в праву частину діаграми. Це стосується в першу чергу великих за масою зір, найбільш яскравих, — саме цей тип еволюціонує швидше.

З плином часу зорі виходять з Головної послідовності. На діаграмі фіксується «*turning point*» — «поворотна точка», завдяки їй можливо досить точно обчислити вік зоряних скупчень. Чим вище на діаграмі знаходиться «поворотна точка», тим молодше скупчення, і, відповідно, чим нижче на діаграмі вона знаходиться, тим старше за віком зоряне скупчення.

Значення діаграми

Діаграма Герцшпрунга–Ресселла надає велику допомогу у вивченні еволюції зір протягом їх існування. За цей час зорі зазнають змін, трансформації, у якісь періоди вони дуже глибокі. Нам вже відомо, що зорі відрізняються не за власними характеристиками, а й за типами фаз, у яких вони перебувають в той чи інший час.

За допомогою цієї діаграми можна обчислити відстань до зір. Можна вибрати будь-яку зорю, що знаходиться у Головній послідовності, уже певної температури і подивитися її просування на діаграмі.

На діаграмі добре видно, яка абсолютна зоряна величина відповідає якій температурі. Знаючи абсолютну і видиму зоряну величину, неважко обчислити відстань.

3. Внутрішня будова зір

Аналізуючи найважливіші характеристики зір, зіставляючи їх одна з одною, вчені змогли встановити і те, що недоступно прямим спостереженнями: як влаштовані зорі, як вони утворюються і змінюються протягом життя, на що перетворюються, витративши запаси своєї енергії.

У Всесвіті постійно народжуються нові зорі, а старі вмирають. Щоб зрозуміти, як еволюціонує зоря, як міняються з плином часу її зовнішні параметри — розмір, світність, маса, необхідно проаналізувати процеси, що відбуваються в надрах зорі. А для цього треба знати, як влаштовані ці надра, які їх хімічний склад, температура, густина, тиск. Але для спостережень доступні лише зовнішні шари зір — їхні атмосфери. Проникнути в глиб навіть найближчої зорі — Сонця — ми не можемо. Доводиться вдаватися до непрямих методів: обчислень, комп'ютерного моделювання. При цьому користуються даними про зовнішні шари, відомими законами фізики і механіки, спільними як для Землі, так і для зоряного світу.

Умови в надрах зір значно відрізняються від умов в земних лабораторіях, але елементарні частинки — електрони, протони, нейтрони — там ті самі, що і на Землі. Зорі складаються з тих самих хімічних елементів, що і наша планета. Тому до них можна застосовувати знання, отримані в лабораторіях.

Спостереження показують, що більшість зір стійкі, тобто вони помітно не розширюються і не стискаються протягом тривалих проміжків часу. Як стійке тіло зоря може існувати тільки в тому

випадку, якщо всі внутрішні сили, що діють на її речовину, врівноважуються.

Зоря являє собою розпечену газову кулю, а основною властивістю газу є прагнення розширитися і зайняти будь-який наданий йому обсяг. Це прагнення спричинене тиском газу і обумовлено його температурою і густиною. У кожній точці всередині зорі діє сила тиску газу, яка намагається розширити зорю. Але в кожній точці їй протидіє інша сила — сила тяжіння верхніх шарів, що намагається стиснути зорю. Однак ні розширення, ні стиснення не відбувається, зоря стійка. Це означає, що обидві сили врівноважують одна одну. А оскільки з глибиною вага верхніх шарів збільшується, то тиск, а значить, і температура зростають до центра зорі.

Зоря випромінює енергію, яку виробляють її надра. Температура зорі розподілена так, що в будь-якому шарі в кожний момент часу енергія, що йде від нижчого шару, дорівнює енергії, що віддається шару вищому. Скільки енергії утвориться в центрі зорі, стільки ж має випромінювати її поверхня, інакше рівновагу буде порушено. Таким чином, до тиску газу додається ще й тиск випромінювання.

Промені, що випускає зоря, отримують свою енергію в надрах, де розміщено її джерело, і просуваються через всю товщу зорі назовні, здійснюючи тиск на зовнішні шари. Температура всередині зорі тим нижче, чим більше концентрація частинок у газі, тобто чим менше його середня молекулярна маса. Чим більше водню і гелію порівняно з більш важкими елементами, тим нижче температура в центрі зорі. Суто водневе Сонце, наприклад, мало б у центрі температуру 10 млн градусів, гелієве — 26 млн градусів, а те, яке повністю складається з більш важких елементів, — 40 млн градусів.

Задля отримання уявлення про структуру зорі використовують метод послідовних наближень. Задаючи деяке співвідношення водню, гелію і більш важких елементів і знаючи масу зорі, обчислюють її світність. Цю процедуру повторюють до тих пір, поки для певної суміші обчислена й отримана зі спостережень світність не збігатиметься. Такий склад і вважається близьким до реального. Виявилось, що для більшості зір на частку водню і гелію припадає не менше 98 %.

Після тривалих пошуків було встановлено, що зорі більшу частину свого життя світять за рахунок перетворень чотирьох ядер Гідрогену (протонів) в одне ядро Гелію. Маса чотирьох протонів більша від маси ядра Гелію, цей надлишок маси і перетворюється

в енергію в термоядерних реакціях. Така реакція відбувається повільно і підтримує світіння зорі протягом мільярдів років.

Будова зір залежить від маси. Якщо зоря в кілька разів масивніша від Сонця, то глибоко в її надрах відбувається інтенсивне перемішування речовини (конвенція), подібно до киплячої води. Таку область називають конвективним ядром зорі. Чим більше зоря, тим більшу її частину займає конвективне ядро. Інша частина зорі зберігає при цьому рівновагу. Джерело енергії міститься в конвективному ядрі. У міру перетворення водню в гелій молекулярна маса речовини ядра зростає, а його обсяг зменшується. Зовнішні ж області зорі при цьому розширюються, вона збільшується в розмірах, а температура її поверхні знижується. Гаряча зоря — блакитний гігант — поступово перетворюється в червоний гігант.

Будова червоного гіганта інша. Коли в процесі стиснення конвективного ядра весь водень перетвориться на гелій, температура в центрі підвищиться до 50–100 млн градусів і почнеться горіння гелію. Він у результаті ядерних реакцій перетворюється на вуглець. Ядро палаючого гелію оточене тонким шаром палаючого водню, який надходить із зовнішньої оболонки зорі. Отже, у червоного гіганта два джерела енергії. Над палаючим ядром розміщена протяжна оболонка.

Разом з оболонкою у міжзоряне середовище несуться різні хімічні елементи, що утворилися в надрах зорі упродовж її життя. Нове покоління зір, які народжуються з міжзоряного газу, буде містити вже більше важких хімічних елементів.

IV. ЗАКРІПЛЕННЯ НОВОГО МАТЕРІАЛУ

Практична робота № 4 «Визначення параметрів зір за допомогою діаграми Герцшпрунга–Ресселла»

1. Заповніть таблицю.

Спектральний клас	Температура	Колір зорі	Основні характеристики класів
O			
B			
A			
F			
G			
K			
M			

2. Використовуючи дані таблиці, напишіть нижченаведені типи спектральних ліній в порядку їх появи у разі зменшення температури зір.

- 1) Дуже сильні лінії водню;
- 2) іонізований гелій;
- 3) смуги молекул титану;
- 4) нейтральний гелій;
- 5) нейтральні метали;
- 6) іонізовані метали.

3. Продовжте розпочаті фрази:

- 1) Дуже високу світність мають...
- 2) Найбільшими за розмірами серед зір є...:
 - а) зорі-гіганти;
 - б) зорі-карлики;
 - в) зорі-надгіганти.

3) Найменшими зорями серед карликів виявилися...:

- а) червоні карлики;
- б) білі карлики;
- в) жовті карлики, подібні до Сонця.

4) Найбільшу середню густину речовини мають...:

- а) гіганти;
- б) червоні карлики;
- в) білі карлики.

5) Значення основних характеристик зір дуже сильно різняться. Виняток становить...:

- а) світність;
- б) густина;
- в) маса.

4. Послідовно використовуючи фрагменти з А, Б, В, Г, Д, складіть найбільш докладну характеристику таких зір:

- зорі-надгіганти;
- білі карлики;
- червоні карлики;
- червоні гіганти;
- Сонце і подібні зорі.

А

- а) Це зорі білого кольору.
- б) Зорі головної послідовності.
- в) Значно більші від Сонця за світністю.
- г) Зорі, розмір яких менший від Сонця.

Б

- Мають розмір, більший від Сонця.
- З поверхневою температурою біля 10 000 К.
- Є зорі жовтого кольору.
- У десятки тисяч разів більше від світності Сонця.
- Поверхневі температури менші за температуру Сонця.

В

- Вони мають приблизно однакову поверхневу температуру близько 6000 К.
- Вони мають найбільші розміри.
- Вони мають невеликі світності.
- Вони мають великі маси.
- Вони мають дуже великі густини.

Г

- менші, ніж у Сонця, маси...
- маси, близькі до маси Сонця...
- низькі поверхневі температури...
- але їх світності можуть відрізнятися...
- найбільші маси.

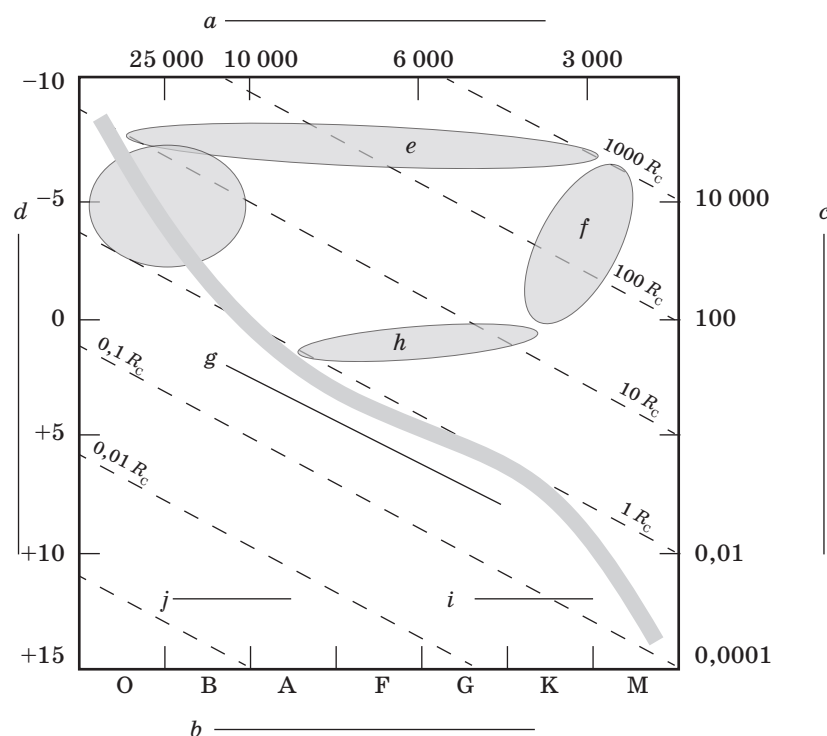
Д

- а за розмірами порівнянні із Землею.
- зате відрізняються дуже незначною густиною.
- розміри також дещо різні.
- на діаграмі «колір — світність» їх послідовність змінюється від середини головної послідовності праворуч вгору.
- зате густина цих зір трохи більша, ніж середня густина речовини Сонця.

5. Фізичні характеристики блакитного надгіганта і білого карлика
У блакитного надгіганта Ригель (зоря β Оріона) поверхнева температура 13 000 К, маса 40 мас Сонця, абсолютна зоряна величина $M = -5,5$.

У білого карлика 40 Еридана В поверхнева температура 12 500 К, маса 0,31 маси Сонця, абсолютна зоряна величина $M = +11,3$. Абсолютну зоряну величину Сонця прийняти $M = 4,8$, а температуру — 6000 К. Обчисліть: світність голубого надгіганта Ригеля і його радіус.

6. На діаграмі Герцшпрунга–Рессела:



На наведеній діаграмі Герцшпрунга–Рессела знайди позначені літерами такі позначення:

- температуру поверхні зорі (в кельвінах);
 - абсолютну світність;
 - спектральний клас;
 - абсолютну зоряну величину;
 - Головну послідовність;
 - область червоних гігантів;
 - область білих карликів;
 - область надгігантів;
 - область блакитних гігантів;
 - область червоних карликів.
- Використовуючи Г—Р діаграму, поясніть, чому червоні гіганти повинні бути дуже великими порівняно з Сонцем, а білі карлики — дуже маленькі.
 - Для зір встановлений ряд закономірностей між їхніми фізичними характеристиками. Яке із тверджень насправді не є закономірністю?

- а) Світність зорі залежить від її маси (залежність маса — світність).
- б) Світність зорі (для зір головної послідовності) залежить від радіуса зорі (залежність радіус—світність).
- в) Світність зорі залежить від температури зорі (залежність температура—світність).
- г) Світність зорі залежить від густини зорі (залежність густина—світність).
- д) Світність зорі залежить від кольору зорі (залежність колір—світність).
9. Яка із нижченаведених закономірностей не стосується діаграми Г—Р?
- а) Залежність температура—світність.
- б) Залежність маса—світність.
- в) Залежність колір—світність.
- г) Залежність спектральний клас — світність.
10. Яку із наведених характеристик ніколи не відкладають по осі абсцис?
- а) Спектральний клас зорі;
- б) світність зорі;
- в) колір зорі;
- г) температура зорі.
11. Яку із наведених характеристик ніколи не відкладають по осі ординат?
- а) Маса зорі;
- б) світність зорі;
- в) абсолютна зоряна величина.
12. Нижче наведено числові значення абсолютної зоряної величини і температури поверхонь зір.

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

Назва і позначення зорі	Абсолютна зоряна величина, M	Температура, К	Спектральний клас	Колір	Зоряна послідовність	Радіус
Канопус (α Кіля)	$-5^m,13$	8600				

Назва і позначення зорі	Абсолютна зоряна величина, M	Температура, К	Спектральний клас	Колір	Зоряна послідовність	Радіус
Беллятрікс (γ Оріона)	$-2^m,57$	18 800				
Хамаль (α Овна)	$+0^m,45$	4000				

Запитання до учнів у ході викладу нового матеріалу

- Від чого залежить положення зір на діаграмі Герцшпрунга—Рессела?
- Спробуйте, використовуючи дані діаграми Г—Р, простежити та пояснити еволюційний шлях Сонця.
- Напишіть такі типи спектральних ліній в порядку їх появи під час зменшення температури зорі: а) дуже сильні лінії водню; б) іонізований гелій, в) смуги молекул титану; г) нейтральний гелій; д) нейтральні метали; е) іонізовані метали.
- Який діапазон радіусів зір (у радіусах Сонця)?
- Які зорі називають білими карликами?
- Чим відрізняються блакитні гіганти від червоних?
- Яка характеристика зорі визначає всі її фізичні параметри?
- Використовуючи дані підручника, намалюйте діаграму Г—Р. Покажіть положення зір головної послідовності, білих та червоних надгігантів, жовтих та червоних гігантів, білих карликів.

Що ми дізналися на уроці

- В астрофізиці прийнято єдину класифікацію зоряних спектрів. За особливостями спектрів: наявністю та інтенсивністю атомарних спектральних ліній і молекулярних смуг, кольором зорі і температурою її випромінювальної поверхні — зорі розділені на класи, які позначають буквами латинського алфавіту:

C (=R — N)
W — O — B — A — F — G — K — M
S

- Кожен клас зір поділяється на десять підкласів (A0...A9). Спектральні класи від O0 до F0 називають «ранніми»; від F до M9 — «пізніми». Деякі вчені відносять зорі класів R, N до класу G. Ряд зоряних характеристик позначається додатковими маленькими літерами: у зір-гігантів перед класом став-

лять літеру «g», у зір-карликів — «d», у надгігантів — «с», у зір з лініями випромінювання в спектрі — буква «е», у зір із незвичайними спектрами — «р». Зоря, яка перебуває на відстані 1 пк, має паралакс, що дорівнює 1". 1 пк = 206 265 а. о. = $3 \cdot 10^{16}$ м.

3. Діаграма Герцшпрунга–Рессела (варіанти транслітерації: діаграма Герцшпрунга–Рессела/Расселла, або просто діаграма Г–Р, або діаграма «колір—зоряна величина») показує залежність між абсолютною зоряною величиною, світністю, спектральним класом і температурою поверхні зорі. Несподіваним є той факт, що зорі на цій діаграмі розташовуються не випадково, а утворюють добре помітні ділянки.
4. На діаграмі Г–Р виділяють: головну послідовність, область червоних гігантів, область білих карликів, область надгігантів, область блакитних гігантів, область червоних карликів.
5. Положення зорі на головній послідовності визначають масою.

V. ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ

Читати § 21 (п. 3–5).

Урок 23/IV-3

Тема. Подвійні зорі різних типів. Змінні зорі. Пульсуючі змінні. Нові та наднові зорі. Утворення хімічних елементів

Цілі:

- *навчальна:* дати уявлення про типи та природу подвійних зір, основні характеристики змінних, нових та наднових зір, подвійні зорі, ознайомити учнів з визначенням мас зір (принципи визначення й методи на основі дослідження візуально-подвійних зір); показати універсальність закону всесвітнього тяжіння;
- *розвивальна:* з метою формування наукового світогляду учнів продовжити ознайомлення учнів з методами й способами в пізнанні природи зір; продовжити розкриття ролі моделей під час вивчення реальної дійсності;
- *виховна:* шляхом логічних умовиводів підвести учнів до розуміння одного з найважливіших положень матеріалістичної діалектики про зв'язок загального, окремого, одиничного; показати, що пізнання загальних закономірностей будови, еволюції зір може бути досягнуте на основі вивчення й порівняння властивостей різних представників класу об'єктів, подібних за своєю природою.

Нові поняття:

- *Учні повинні знати:* ознаки фундаментального астрономічного поняття «зоря» як окремого типу космічних тіл; типи та природу подвійних зір, основні характеристики змінних, нових та наднових зір.
- *Учні повинні вміти:* аналізувати навчальний матеріал, використовувати узагальнений план для вивчення космічних явищ, робити висновки, пояснювати механізми утворення хімічних елементів під час спалаху надгової зорі, розв'язувати задачі з використанням залежності період–світність для цефеїд.
- *Міжпредметні зв'язки:* природознавство, географія, література, математика, фізика.

Демонстрації:

- 1) Фотозображення найвідоміших кратних зір.
- 2) Типові криві зміни блиску змінних різних типів.
- 3) Фотозображення спалахів нових та наднових зір.

Технічні засоби навчання, наочне приладдя: мультимедійний проектор, комп'ютер, CD-презентація «Подвійні зорі»; атлас з астрономії.

Обладнання: комп'ютер, мультимедійний проектор, екран; презентація «Подвійні зорі»; атлас з астрономії; робочий зошит з астрономії.

План заняття

Час	Метод навчання	Зміст роботи	Наочне приладдя, ТЗН
0,5 хв	Бесіда	Організаційний момент Перевірка готовності учнів до уроку. Стимулювання діяльності учнів, забезпечення їхньої загальної готовності, своєчасного й організованого початку уроку	
10 хв	Бесіда	Актуалізація опорних знань учнів Узагальнення матеріалу з теми «Характеристики стаціонарних зір»	

Час	Метод навчання	Зміст роботи	Наочне приладдя, ТЗН
25 хв	Лекція	Пояснення нового матеріалу 1) Типи подвійних зір. 2) Визначення характеристик зір. 3) Фізичні змінні зірі	Роздавальний матеріал, презентація
10 хв	Самостійна робота учнів	Закріплення нового матеріалу Робота з тестами. Розв'язування задач	
1 хв		Пояснення домашнього завдання	
		Домашнє завдання Читати § 22, 23	

ХІД УРОКУ

I. ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ МОМЕНТ

II. АКТУАЛІЗАЦІЯ ОПОРНИХ ЗНАТЬ

III. ПОЯСНЕННЯ НОВОГО МАТЕРІАЛУ

1. Типи подвійних зір

Важливість вивчення зоряних систем обумовлено їх поширеністю: 50–70 % зір у Галактиці є подвійними і до 10 % — кратними. Для їх дослідження використовують знання з небесної механіки, астрофізики й космогонії. Багато подвійних систем спостерігають як затемнено-змінні або фізично змінні зірі.

У подвійній і кратній зоряних системах компоненти обертаються навколо загального центра мас системи. Залежно від умов спостереження зірі можуть бути:

- 1) **оптично-подвійні зірі**, що розділяються в телескоп на окремі компоненти, коли подвійна зоря розташована на лінії зору для земного спостерігача, а в просторі її компоненти відносно далеко один від одного (дослідження цих зір нас цікавити не буде);
- 2) **візуально-подвійні**;
- 3) **астрометрично-подвійні зірі**;
- 4) **затемнено-змінні** — подвійність встановлюється за змінністю блиску; наявність невидимого компонента (білого карлика, нейтронної зірі, чорної діри тощо) видають періодичні зміни в характері руху зірі або такі самі рівномірні періодичні зсуви всіх ліній у її спектрі;

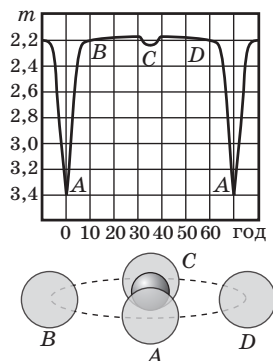
- 5) **спектрально-подвійні зірі** — за значної відстані до зірі або малої відстані між компонентами про подвійність системи судять за накладенням спектрів компонентів один на одного;
- 6) **фізично подвійні зірі** — подвійні зірі, які обертаються навколо спільного центра мас.

Часто зірі в парах сильно різняться за блиском, більш темну зорю затьмарює блиском яскрава. Іноді в таких випадках астрономи дізнаються про подвійність зірі за відхиленнями в русі яскравої зірі під дією невидимого супутника від обчисленої для одиночної зірі траєкторії в просторі. Такі пари називають астрометрично подвійними. Зокрема, Сиріус тривалий час вважали астрометрично подвійною, поки потужність телескопів не дозволила розгледіти невидимий досі супутник — Сиріус В. Ця пара стала візуально подвійною.

Їх подвійність визначається під час вивчення спектра зірі, у якому помітно періодичні зміщення ліній поглинання або видно, що лінії є подвійними, на чому ґрунтується висновок про подвійність зірі. У спектрально подвійних зірок спостерігається зсув (або роздвоєння) ліній в спектрі, що відбувається внаслідок ефекту Доплера. Воно змінюється з періодом, що дорівнює періоду обертання пари. Якщо яскравості й спектри зір, складових пари, подібні, то в спектрі спостерігається періодичне роздвоєння ліній. Нехай компоненти A і B займають положення A_2 або B_2 , коли одна рухається у напрямку до спостерігача, а інша — від нього. Спектральні лінії зірі, яка наближається, змістяться до фіолетового кінця спектра, а тієї, що віддаляється, — до червоного. Лінії в спектрі будуть роздвоєні. У положеннях A_1 і B_1 обидва компоненти рухаються перпендикулярно до променя зору, і роздвоєння ліній не спостерігається. Якщо одна із зір настільки слабка, що її лінії не видно, то буде спостерігатися періодичне зміщення ліній більш яскравої зірі. Для спостерігача, який знаходиться в площині орбіти спектрально-подвійної зірі, її компоненти будуть по черзі загороджувати, «затьмарювати» одна другу.

Частина подвійних зір спостерігають як затемнено-змінні зірі, що змінюють свій блиск на кілька зоряних величин з періодом від 82 хвилин (NZ Стріли) до 57 років (BM Еридана) за умови, що зірі, які утворюють подвійну систему, обертаються навколо загального центра ваги в площині, паралельній до променя зору земного спостерігача.

Зміна блиску затемнено-змінних зір відбувається строго періодично, повторюючись через деякі проміжки часу (див. рис. 23.1).



Мал. 23.1. Затемнено-змінні зорі

Якщо побудувати графік, на якому по осі абсцис відраховувати час, а по осі ординат — зоряні величини, то завдяки отриманій кривій ми матимемо уявлення про характер зміни блиску. За такої кривої можна простежити, як відбуваються коливання блиску від його мінімального значення до максимального. Різниця зоряних величин в максимумі і мінімумі називається амплітудою, а час від одного максимуму до наступного називають періодом змінної зорі. Змінність зір може бути обумовлена затемненнями в тісній подвійній системі.

Затемнено-подвійні зорі, обертаючись навколо загального центра мас, періодично затуляють одну іншу від земного спостерігача. Такі зорі мають постійну криву блиску.

2. Визначення характеристик подвійних зір

На відміну від мас і деяких інших характеристик одиночних зір, обумовлених непрямыми методами, маси компонентів подвійної системи обчислюють на основі прямих спостережень. Вимірюючи характеристики руху компонент відносно більш далеких зір, визначають відносні розміри й форму їхніх орбіт. Відомості про паралакс системи дозволяють обчислити їхні істинні характеристики. На підставі третього закону Кеплера, знаючи періоди обертання компонент і великі півосі їхніх орбіт, можна з'ясувати їхні маси.

Нехай маси головної зорі і її супутника будуть M_1 і M_2 , P — період обертання супутника, A — велика піввісь його орбіти. Тоді, позначивши через M_0 і M_3 маси Сонця і Землі, T_3 — сидеричний період обертання Землі, a — велику піввісь земної орбіти, можна написати:

$$\frac{(M_1 + M_2)P^2}{(M_0 + M_3)T_3^2} = \frac{A^3}{a^3}.$$

Визначення мас зір на основі досліджень подвійних зір показало, що вони розташовані в межах від 0,03 до 60 мас Сонця. При цьому більшість з них мають масу від 0,3 до 3 мас Сонця. Дуже великі маси трапляються вкрай рідко.

3. Фізично змінні зорі

Фізично змінними називають зорі, які змінюють свою світність в результаті фізичних процесів, що відбуваються безпосередньо в зорі. Такі зорі можуть і не мати постійну криву блиску. Першу пульсуючу змінну відкрив 1596 року Фібіріціус в сузір'ї Кита. Він назвав її Мірою, що означає «чудова, дивовижна». У максимумі Міру добре видно неозброєним оком, її видима зоряна величина $2m$, у період мінімуму вона зменшується до $10m$, і її видно тільки в телескоп. Середній період змінності Міри Кита 3331,6 доби.

На сьогодні відомо декілька десятків тисяч змінних зір різних типів. Світність деяких змінюється строго періодично, в інших періодичність часто порушується або не дотримується так суворо, а є й такі, у яких світність змінюється неправильно, і поки не вдалося знайти певних закономірностей у цих змінах. На жаль, зорі розташовані настільки далеко від нас, що, за рідкісним винятком, вони навіть у найпотужніші телескопи видаються крапками. Лише за останні роки для деяких найбільших з них вдалося отримати зображення у вигляді диска, на якому виявляються плями. У більшості випадків розміри зір доводиться обчислювати на основі даних про їх світність і температурі. Світність зорі визначають за тією ж формулою, що і світність Сонця.

До змінних зір із суворою періодичністю належать передусім цефеїди. Вони дістали цю назву тому, що першою серед зір цього типу була відкрита δ Цефея. Ця класична цефеїда змінює свою світність з періодом 5,37 доби, а амплітуда зміни світності становить приблизно одну зоряну величину. Як правило, у цефеїд ця амплітуда не перевищує 1,5 зоряної величини, зате періоди зміни світності дуже різні: від десятків хвилин до декількох десятків діб, причому цей період у них тривалі роки зберігається постійним. Вивчення спектрів цефеїд показало, що зміна світності супроводжується змінами температури й променевої швидкості. Ці дані показують, що причиною всьому є пульсація зовнішніх шарів зірки. Вони періодично то розширюються, то стискаються.

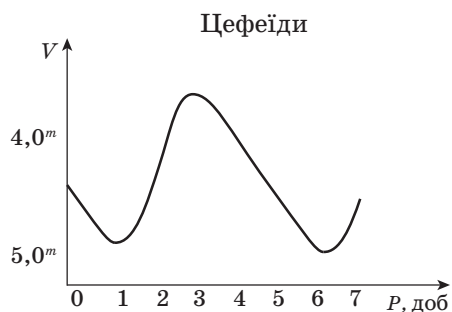


Рис. 23.2

Під час стиснення зоря нагрівається і стає яскравішою, у разі розширення її світність зменшується. По суті, цефеїди — це природна автоколивальна система, «сферичний маятник», який має свою частоту (період) коливань. Ще на початку XX ст. було помічено: що яскравіше цефеїд, то триваліший період зміни її світності. Залежність «період–світність», що існує у цефеїд, використовується для визначення відстаней в астрономії. Отримавши зі спостережень період зміни світності цефеїди, можна дізнатися її світність, обчислити абсолютну зоряну величину M , а порівнявши її з видимою зоряною величиною m , обчислити відстань до зорі за формулою:

$$\lg D = 0,2(m - M) + 1.$$

Цефеїди — це зорі-надгіганти, вони мають високу світність. Так, наприклад, світність цефеїди з періодом 50 діб у 10 тисяч разів більше, ніж у Сонця. Вони помітні навіть в інших галактиках, тому цефеїди, які можна використовувати для визначення таких великих відстаней, коли річний паралакс неможливо виміряти, часто називають «маяками Всесвіту». Зорі, пульсація яких відбувається з періодом більшим, ніж у цефеїд, називаються довгоперіодичними. Період зміни світності у них не витримується так суворо, як у цефеїд, і становить у середньому від декількох місяців до півтора років, а світність змінюється на кілька зоряних величин. Ці зорі типу Міри (θ Кита) є червоними гігантами з протяжною і холодною атмосферою. У деяких зір, світність яких тривалий час залишалася практично постійною, вона раптом несподівано знижується, а через деякий час знову відновлюється на колишньому рівні. Оскільки в атмосферах таких зір спостерігається підвищений вміст вуглецю, прийнято вважати, що причиною зменшення світності є утворення гігантських хмар сажі, що поглинають світло.

4. Нові та наднові зорі

Починаючи з глибокої давнини в історичних літописах різних народів неодноразово відзначали випадки появи зір, видимих неозброєним оком на тому місці, де їх раніше не було. Особливо дивними були ці «нові» зорі, коли вони ставали настільки яскравими, що їх могли спостерігати навіть удень. Потім їх світло поступово, протягом декількох місяців слабшало настільки, що зорю вже не можна було бачити неозброєним оком. Наприклад, у китайських і японських хроніках збереглися відомості про «зорю-гостю», яка спалахнула в сузір'ї Тільця 1054 р. і протягом трьох тижнів її було видно вдень, а через рік вона абсолютно «зникла».

1572 р. вчитель Кеплера Тихо Браге спостерігав у сузір'ї Касіопеї нову зорю, яка була яскравішою за Венеру. 1604 р. вже сам Кеплер спостерігав нову зорю в сузір'ї Змієносця. У XX ст. ретельні спостереження за зоряним небом із застосуванням фотографії дозволили встановити, що такі несподівані спалахи спостерігаються у зір, які до цього тривалий час залишалися слабкими і не привертати до себе увагу астрономів. На сьогодні розрізняють нові й наднові зірки, що спалахують. У нових зір світність зростає на 12–13 зоряних величин і виділяється енергія до 1039 Дж. Зоря набуває максимальної яскравості всього за кілька діб, а ослаблення до початкового значення світності може тривати роками. Тривалий час причини спалахів нових зір залишалися незрозумілими. Все змінилося, коли 1954 р. було виявлено, що одна з нових зір (DQ Геркулеса) є подвійною з періодом обертання всього 4 год 39 хв. Один із компонентів — білий карлик, а інший — червона зоря головної послідовності. Через їх близьке розташування на білий карлик перетікає газ з атмосфери червоного карлика. У міру накопичення водню густина і температура зовнішніх шарів білого карлика зростає, створюються умови для початку термоядерних реакцій перетворення водню в гелій.

При цьому зовнішні шари зорі, що становлять незначну частину її маси, розширюються і викидаються в космічний простір. Їх світіння і спостерігають як спалах нової зорі. Таке явище може повторюватися з тісними подвійними зорями неодноразово: у одних через тисячі, в інших зі зміною світності на 4–5 зоряних величин через кілька десятків років. Спалах наднової зорі — гігантський за своїми масштабами вибух зорі, за якого її світність протягом декількох діб зростає в сотні мільйонів разів. Під час спалаху виділяється енергія до 10^{39} Дж, що приблизно дорівнює енергії, яку

Сонце може випромінювати за весь час свого існування. Теоретичні розрахунки, результати яких добре узгоджуються з даними спостережень, дозволили скласти досить повне уявлення про процеси, що відбуваються в тих наднових зорях, маса яких у десятки разів перевершує масу Сонця.

5. Утворення хімічних елементів

На основі даних про хімічні елементи в природі вчені дійшли висновку, що найбільш імовірним джерелом утворення більшості ядер є послідовності ядерних процесів, які відбуваються в надрах зір.

Хімічний склад Землі, Місяця і метеоритів можна встановити безпосередньо, однак склад планет Сонячної системи менш відомий, відомості про нього ґрунтуються на значенні величини середньої густини речовини планет. Під час дослідження складу Сонця, зір і міжзоряних газових туманностей використовують спектральний аналіз, але він дає інформацію тільки про атмосферу тієї чи іншої зорі. Наприклад, в атмосфері Сонця зафіксовано близько 70 елементів, тим не менш, деякі елементи не видається можливим виявити ні в атмосфері Сонця, ні в атмосфері зір. У результаті було зроблено висновок, що за належного наближення вміст елементів в атмосфері зір узгоджується з їх умістом для Землі і метеоритів.

1956 року Г. Зюсом і Г. Юри на основі хімічного складу Землі, метеоритів і Сонця була складена таблиця поширеності елементів. Вона примітна тим, що демонструє чималу перевагу за поширенням серед елементів з масовим числом 40–60 групи заліза.

Утворення ядер хімічних елементів від вуглецю до групи заліза відбувається в результаті гелієвого, вуглецевого, кисневого, неонових і кремнієвого горіння в надрах зір. Показово, що в лабораторних умовах енергії частинок, що стикаються, набагато перевищують аналогічні в надрах зір, тому отримані ефективні сигма-перерізи не можуть бути прийняті для астрофізичних реакцій. У результаті горіння гелієвого ядра зорі температура її поверхні може навіть знизитися, і після зміни фізичних властивостей зоря перетворюється на червоний гігант. У той момент, коли температура в ядрі зорі досягає $1,5 \cdot 10^8 \text{ K}$, а густина — $5 \cdot 10^4 \text{ г/см}^3$, починається так звана потрійна реакція: з трьох атомів Гелію утворюється атом Карбону. Можлива також реакція з утворенням кисню з вуглецю і гелію з виділенням гамма-частинок. Утворені ядра Оксигену реагують з гелієм, і в результаті формується неон, з неону — мар-

ганець. Процес горіння гелію супроводжується іншими реакціями з утворенням різних нуклідів.

У результаті гравітаційного стиснення ядра зорі починається злиття ядер Карбону з утворенням ядер Неону, Натрію і Магнію. Одночасно утворюються алюміній, кремній і деякі сусідні нукліди.

Вуглець може спалахувати і підтримувати горіння лише в масивних зорях. У зорях, які всього лише в кілька разів перевищують за масою Сонце, вуглецеве ядро може і не утворюватися.

Горіння неону характеризується короткою стадією і полягає у фотодисоціації. Слідом за неоном відбувається багатоканальне горіння кисню, потім у міру зростання температури і густини відбувається горіння кремнію — кінцева стадія термоядерного синтезу нуклідів у масивних зорях, на якій утворюються ядра групи заліза, що мають максимальну питому енергію зв'язку. Зоря із залізним ядром перебуває в стадії преднадрової, яка передують вибуху внаслідок порушення рівноваги.

Утворення атомних ядер, розташованих у таблиці за групою заліза, забезпечується в результаті s -, r - і p -процесів.

s -процес являє собою повільне захоплення нейтронів, за якого утворені нестійкі ядра розпадаються, перш ніж встигнуть приєднати наступний нейтрон. s -процес йде в надрах зір за їх нормальної стадії еволюції.

Важкі і надважкі елементи таблиці Менделєєва, що стоять за Ві, утворюються внаслідок r -процесу. У цьому процесі ядро має захопити багато нейтронів, перш ніж відбудеться його негативний бета-розпад. Можливими астрофізичними умовами протікання r -процесу вважають механізми, які є наслідком вибухів наднових, оскільки реакції швидкого захоплення нейтронів у стаціонарних зорях неможливі. Закінчення r -процесу переривається спонтанним діленням надважких ядер. Швидке захоплення нейтронів було частково реалізовано в штучних умовах під час вибухів ядерних бомб, начинених ураном-238.

p -процес являє собою утворення рідкісних, багатих на протони ядер шляхом захоплення протонів або позитронів, оскільки ці ядра не можуть бути створені жодним процесом нейтронного захоплення. Проте фізичні моделі умов протікання p -процесу в зорях залишаються поки здебільшого неоднозначними порівняно з процесами захоплення електронів.

Утворення хімічних елементів, за винятком водню і гелію, з яких сформувалася Сонячна система, відбулося в зорях поперед-

нього Сонцю покоління. Є підстави вважати, що Сонячна система утворилася з газопилової хмари — залишку наднових, які пройшли всі етапи зоряного нуклеосинтезу і вибухнули.

Запитання до учнів у ході викладу нового матеріалу

1. Поясніть, як дві близькі в полі зору телескопа зорі можуть бути в просторі далеко одна від одної (*див. рис. 24.1*).
2. Як повинна бути розташована площина обертання подвійної зоряної системи відносно земного спостерігача, щоб ця система була затемнено-подвійною?
3. Які зорі змінюють кількість випромінювального світла: фізично подвійні чи фізично змінні?
4. Як можна дізнатися, чи дійсно дві близькі в полі зору телескопа зорі перебувають і в просторі поруч?
5. Чи може нова зоря спалахнути ще раз?
6. Поясніть твердження «Цефеїди — маяки Всесвіту».

IV. ЗАКРІПЛЕННЯ НОВОГО МАТЕРІАЛУ

1. У якого компонента подвійної зорі — з більшою чи меншою масою — розміри орбіти відносно центра мас більше?
2. Термін «нова зоря» означає «молодий вік» чи «збільшення блиску зорі»?
3. Наднові зорі — це молодші чи яскравіші зорі, ніж нові?
4. У якому сузір'ї міститься змінна зоря типу цефеїд, від якої походить назва цього типу зір?
5. Які процеси взаємодії між зорями можуть відбуватися в тісних подвійних зоряних системах, на відміну від інших подвійних зоряних систем?
6. Як має бути розташована відносно Землі площина обертання подвійної зоряної системи, щоб ця система не була спектрально-подвійною?
7. Як дізнаються про подвійність зорі, коли із двох зір можна побачити лише одну?

Що ми дізналися на уроці

- Типи подвійних зірок: оптично-подвійні, візуально-подвійні, спектрально-подвійні, астрометрично-подвійні, затемнено-змінні, фізично подвійні.
- Аналіз кривої світності затемнено-змінних зір дозволяє визначити: період обертання, параметри орбіт компонентів, оцінити маси компонентів, радіус зір R_1 і R_2 .

- До фізично змінних зірок належать цефеїди, для яких можна обчислити абсолютну зоряну величину, світність та визначити відстань.
- Цефеїди — це маяки Всесвіту.
- Нові та наднові зорі — це кінцеві стадії еволюції зір, які раніше спостерігали на небі, причиною збільшення світності є вибух речовини цих зір.
- Хімічні елементи утворюються під час процесів, які відбуваються у надрах зір.

V. ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ

Читати § 22, 23.

Урок 24/IV–4

Тема. Загальні характеристики Сонця, внутрішня будова, атмосфера, обертання Сонця

Цілі:

- *навчальна:* продовжити формування поняття «зоря» на прикладі розгляду фізичних характеристик Сонця як найближчої до нас зорі; розглянути основні характеристики Сонця як космічного тіла: маса, густина, світність, сонячна стала, хімічний склад й стан речовини, магнітне поле; розглянути внутрішню будову (ядро, зону променистого переносу й конвекції), сонячну атмосферу, активні утворення на поверхні Сонця;
- *розвивальна:* з метою формування наукового світогляду учнів продовжити ознайомлення учнів з методами й способами в пізнанні природи зір; продовжити розкриття ролі моделей під час вивчення реальної дійсності; пояснювати властивості космічних об'єктів під час розв'язування задач з використанням формул молекулярної фізики й термодинаміки;
- *виховна:* спростувати міф про створення світу, розглянувши параметри Сонця як рядової зорі.

Нові поняття: активні утворення (плями, факели, протуберанці).

- *Учні повинні знати:* основні фізичні характеристики Сонця (наближені відповідні величини); внутрішню будову Сонця та структуру атмосфери.
- *Учні повинні вміти:* характеризувати Сонце як зорю, його внутрішню будову, атмосферу, фізичні параметри окремих зон та обчислювати їх на основі законів фізики.
- *Міжпредметні зв'язки:* природознавство, географія, література, математика, фізика.

Демонстрації:

- 1) Зображення атмосфери та корони Сонця.
- 2) Схема внутрішньої будови Сонця.
- 3) Зображення окремих активних утворень в атмосфері Сонця (плями, протуберанці, спалахи, корональні діри тощо).

Технічні засоби навчання, наочне приладдя: мультимедійний проектор, комп'ютер, CD-презентація «Сонце»; атлас з астрономії.

Обладнання: комп'ютер, мультимедійний проектор, екран; презентація «Сонце»; атлас з астрономії; робочий зошит з астрономії.

План заняття

Час	Метод навчання	Зміст роботи	Наочне приладдя, ТЗН
0,5 хв	Бесіда	Організаційний момент Перевірка готовності учнів до уроку. Стимулювання діяльності учнів, забезпечення їхньої загальної готовності, своєчасного й організованого початку уроку	
2 хв	Бесіда	Актуалізація знань учнів Учитель проводить евристичну бесіду, метою якої є систематизація знань учнів з теми уроку, які були отримані раніше	

Час	Метод навчання	Зміст роботи	Наочне приладдя, ТЗН
25 хв	Лекція	Пояснення нового матеріалу 1) Основні фізичні характеристики Сонця. 2) Будова Сонця. 3) Внутрішня будова й структура атмосфери; об'єкти і явища, спостережувані в сонячній атмосфері	Презентація «Сонце»
10 хв	Перегляд відеофрагмента	Закріплення нового матеріалу Перегляд відеофрагмента	
1 хв		Пояснення домашнього завдання	
		Домашнє завдання Читати § 18,19 (п.1, 3)	

ХІД УРОКУ

*Прекрасно светишь ты на небосводе,
О Ато, живущий, начавший жизнь!*

Эхнатон «Гимн Солнцу»

I. ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ МОМЕНТ

II. ПОЯСНЕННЯ НОВОГО МАТЕРІАЛУ

1. Основні фізичні характеристики Сонця

Сонце — рядова зоря нашої Галактики. Це єдина зоря, настільки наближена до Землі, що на ній видні окремі деталі її поверхні. Вивчаючи їх, ми можемо глибше зрозуміти природу інших зір, що перебувають на значно більших відстанях.

Сонце — найближча до Землі зоря. Воно дає необхідне для життя світло, тепло, енергію.

Древні навіть поклонялися Сонцю як божеству, яке дає життя. Безпосередньо із Землі Сонце вивчають оптичними й радіометодами. Позаатмосферна астрономія дозволила значно розширити досліджуваний діапазон частот електромагнітного випромінювання Сонця, а також взятися за детальне дослідження його корпускулярного випромінювання. Все різноманіття сонячних явищ, які ми розглянемо, притаманно і для інших зір. Тому фізика сонячних явищ має величезне значення для розвитку астрофізики в цілому.

Сонце — газова, точніше, плазмова куля.

Радіус Сонця становить 696 тис. км, що в 109 разів перевищує радіус Землі, причому полярний й екваторіальний діаметри різ-

няться не більш ніж на 10 км. Відповідно, об'єм Сонця перевищує земний в 1,3 мільйона разів. Маса Сонця дорівнює $1,99 \cdot 10^{30}$ кг і в 330 000 разів більше від маси Землі. Середня густина — всього $1,4 \text{ г/см}^3$, хоча в центрі Сонця вона досягає 150 г/см^3 . Прискорення вільного падіння на поверхні Сонця дорівнює $27,9g$, а друга космічна швидкість — 618 км/с .

Щомиті Сонце випромінює $3,84 \cdot 10^{26}$ Дж енергії, що в мас-енергетичному еквіваленті відповідає зменшенню маси на 4,26 млн тонн за секунду. Температура поверхні Сонця дорівнює 5800 К , у центрі Сонця температура досягає $15\,000\,000 \text{ К}$.

Із Землі Сонце виглядає як сліпучий диск із кутовим розміром близько половини градуса (видимий кутовий розмір Сонця незначною мірою міняється протягом року через зміну відстані Сонце — Земля під час річного руху Землі по орбіті). Зоряна величина Сонця дорівнює $-26,7^m$; це найяскравіший об'єкт на земному небі.

Спостереження деталей на поверхні Сонця показують, що воно обертається навколо осі, нахиленої до площини земної орбіти на $82^\circ 45'$. При цьому поверхневі шари Сонця обертаються не як тверде тіло: кутова швидкість обертання убуває в міру наближення до полюсів, так що точка на екваторі Сонця робить один оберт за 25 діб, а точка поблизу полюса — за 30 діб.

У видимій області Сонце випромінює безперервний спектр, на тлі якого видні десятки тисяч темних ліній поглинання, що утворюються під час проходження сонячного світла через атмосферу Сонця й Землі. Уперше вони були описані 1814 р. австрійським фізиком Фраунгофером і тому часто називаються фраунгоферовими лініями. Їх вивчення дозволяє судити про хімічний склад Сонця. Установлено, що переважними хімічними елементами на Сонці є водень і гелій. Водень становить 92 % за кількістю атомів й 70 % за масою, гелій — 7,8 й 29 % відповідно. Інші елементи, разом узяті, становлять менше відсотка маси Сонця.

2. Будова Сонця

Центральна частина Сонця називається його ядром. Ядро (зона термоядерних реакцій) — центральна область, що простягається на $1/3$ радіуса Сонця від його центра, поблизу якого за тиску до $2 \cdot 10^{18} \text{ Па}$, температури $1,5 \cdot 10^7 - 1,6 \cdot 10^7 \text{ К}$ та густини плазми до 16 г/см^3 протікають термоядерні реакції перетворення ядер атомів Гідрогену в ядра атомів Гелію, що супроводжується виді-

ленням колосальної енергії. Ядро обертається як єдине тверде тіло з періодом 22–23 доби.

Зона випромінювання

Протягом піврадіуса вище ядра (тобто в зоні $0,2-0,7$ радіуса Сонця) перебуває зона переносу енергії випромінюванням. Зона променистого переносу (відстані від $1/3$ до $2/3 R_{\odot}$) — область, у якій енергія, що виділяється в сонячному ядрі, передається назовні, від шару до шару, у результаті послідовного поглинання й перевипромінювання електромагнітних хвиль. Плавню розподіляючись по дедалі збільшуваному об'єму речовини, енергія (і, відповідно до закону Вина, довжина) електромагнітних хвиль поступово зменшується від $10^{-11} - 10^{-12}$ Дж (γ — і жорстке рентгєнівське випромінювання) на границі з ядром до 10^{-16} Дж (жорсткий ультрафіолет) на границі з конвективною зоною, де густина плазми становить близько $0,16 \text{ г/см}^3$ за тиску до 10^{13} Па й температур до 10^6 К .

Конвекційна зона

Ближче до поверхні Сонця виникає вихрове перемішування речовини, й перенос енергії здійснює переважно власне речовина. Такий спосіб передання енергії називається конвекцією, а подповерхневий шар Сонця, де вона відбувається, — конвекційною зоною. За припущеннями дослідників Сонця, її роль у фізиці сонячних процесів особливо велика, тому що саме в ній зароджуються різноманітні рухи сонячної речовини й магнітні поля. Зона конвекції ($0,29R_{\odot}$) простягається майже до видимої поверхні Сонця. У ній відбувається безперервне перемішування (конвекція) сонячної речовини зі швидкістю від 1 м/с у глибині зони до $2-3 \text{ м/с}$ на границі з фотосферою. Крім вертикальних, висхідних і низхідних потоків плазми, у конвективній зоні спостерігаються локальні, зональні й меридіональні плинні від екватора до полюсів зі швидкістю до 30 м/с . Взаємодія цих рухів сонячної речовини спричиняє ефект динамо-механізму, що породжує магнітне поле Сонця. В енергію магнітного поля перетворюється до $0,1 \%$ від всієї теплової енергії Сонця, яка надійшла в конвективну зону. На дні конвективної зони із 22-річною періодичністю накопичується намагнічена плазма, яка створює потужний магнітний шар. Ряд учених припускає існування над ним ще декількох зон генерації магнітних полів; та, що розміщена найвище, має квазидворічну періодичність. Біля

границі з фотосферою формуються осередки супергрануляції; в області інтенсивного перемішування речовини генеруються потужні акустичні (звукові) коливання. На глибині $0,8\text{--}0,9 R_{\odot}$ з'являються перші нейтральні атоми: спочатку Гелію, потім — Гідрогену, вище їх концентрація збільшується.

Вище простягається атмосфера Сонця, у якій виділяють ряд таких областей: фотосфера, хромосфера та корона.

3. Внутрішня будова й структура атмосфери; об'єкти і явища, спостережувані в сонячній атмосфері

Фотосфера

Фотосфера (шар, що випромінює світло) завтовшки сягає ~ 320 км й утворює видиму поверхню Сонця. З фотосфери виходить основна частина оптичного (видимого) випромінювання Сонця, випромінювання ж із глибших шарів до неї вже не доходить. Температура у фотосфері досягає в середньому 5800°C . Тут середня густина газу становить менше $1/1000$ густини земного повітря, а температура в міру наближення до зовнішнього краю фотосфери зменшується до 4800°C . Водень за таких умов майже повністю зберігається в нейтральному стані. Фотосфера утворює видиму поверхню Сонця, від якої визначають розміри Сонця, відстань від поверхні Сонця й т. ін.

Розміри гранул різні й становлять приблизно в середньому близько 700 км, «час життя» — поява й вгасання гранул — близько 8 хвилин ($5\text{--}15$ хвилин). Флуктуації яскравості незначні. Перевищення яскравості над середнім тлом становить $\leq 10\%$, що, за законом теплового випромінювання ($I \sim T^4$), відповідає підвищенню температури над її середнім значенням на 130°C .

Розходження температур холодних і гарячих елементів сонячної грануляції становить 500°C . Швидкості вертикальних рухів цих елементів безпосередньо не можуть бути виміряні, надійно встановлений лише факт, що найбільш яскраві елементи піднімаються (наближаються) до спостерігача. Іноді в деяких областях, що розташовуються в зоні $\pm 30^{\circ}$ від екватора, крім спокійної грануляційної картини, спостерігають сонячні плями й факели.

Пляма темніша від навколишньої фотосфери. Потік променевої енергії в тіні плями ослаблений приблизно в 3 рази, що є наслідком зниження температури від 6000°C до 4500°C . Природно, що в спектрі плям це зниження температури відчутно, посилені лінії «більш низького порушення», молекулярні смуги. Видно також, що лінії трохи зміщені за шкалою довжин хвиль у короткохви-

льову область. Це дозволяє встановити на основі ефекту Доплера, що на рівні фотосфери (у галузі освіти випромінюваних ліній) газ впливає із плями. Зараз з'ясовують деякі нові особливості цього явища, названого ефектом Євершеда: рух назовні — від тіні до периферії — характерний лише для яскравих, гарячих волокон, холодний газ рухається в протилежному напрямку. У півтіні напрямки руху близький до горизонтального (газ розтікається уздовж магнітного поля).

Плями зазвичай оточені цілою мережею яскравих ланцюжків — фотосферним факелом. Ширина ланцюжків дорівнює діаметру яскравих елементів (груп гранул), що їх утворюють, і становить $5000\text{--}10000$ км, довжина досягає $50\,000$ км. Факел — довгоживуче утворення, він часто не зникає протягом усього року, а група плям на його тлі «живе» близько місяця (найбільша пляма — до декількох місяців). Сумарна площа ланцюжків — волокон факела — приблизно в 4 рази більша за площу плями. Факели, правда, менш яскраві, зустрічаються незалежно від плям. Величина сумарної площі факелів у роки мінімуму сонячної активності незначна, але в роки максимуму сонячної активності може досягати до 10% всієї поверхні Сонця.

Волокна факелів чітко видні лише біля краю диска Сонця, де перевищення їхньої яскравості над тлом досягає $10\text{--}20\%$. Оскільки біля краю диска проглядаються поверхневі шари, то таке перевищення яскравості свідчить про те, що температура верхніх шарів факела на $100\text{--}300^{\circ}\text{C}$ вище, ніж незбуреної фотосфери.

Усі явища сонячної активності, зокрема у фотосфері, пов'язані з виходом на поверхню Сонця магнітних полів. Магнітне поле розщеплює енергетичні рівні атома (ефект Зеемана), що призводить до появи в спектрі замість однієї лінії двох або декількох близьких компонентів. Уже перші виміри ефекту Зеемана, проведені на початку XX ст., показали, що поля в плямах досягають величин $0,15\text{--}0,3$ Тл, причому такі поля реалізуються в областях з діаметром близько $20\,000$ км.

Хромосфера

Хромосфера досягає висоти 7000 км, її температура змінюється від 4000 К (нижня хромосфера) до $100\,000$ К (верхня хромосфера).

Можна побачити під час повного сонячного затемнення у вигляді вузького жовто-червоного кільця. Товщина хромосфери — $12\text{--}15$ тис. км.

Сонячна хромосфера досить неоднорідна: у ній наявні довгасті, схожі на язички полум'я утворення, так звані спікули.

У хромосфері беруть початок і потужніші викиди газів, що піднімаються іноді до 250 000 км (і більше), — протуберанці. Серед них виділяють два основних типи: стаціонарні, стійкі хмари газів, що повільно змінюються та перебувають у зваженому стані над хромосферою, і ті, які швидко змінюються, — еруптивні (вивержені), які з більшими швидкостями, що часом перевищують 700 км/с, відриваються від хромосфери, піднімаючись на більші висоти. Вони піднімаються, а потім або розсіюються в атмосфері, або падають назад, усередину хромосфери. Траплялися випадки, коли речовина протуберанця долала сонячне притягання й ішла у світовий простір.

Протуберанці, так само як хромосферу, можна спостерігати під час повних сонячних затемнень, коли вони виступають через темний край місячного диска. Винайдено спектральні прилади, що дозволяють щоденно спостерігати протуберанці і хромосферу. Спеціальний, дуже складний світлофільтр дає можливість спостерігати сонячний диск і його околиці в монохроматичному світлі й у ньому бачити розподіл тих або інших хімічних елементів у сонячній атмосфері: були виявлені скупчення, що містять надлишок водню, — так звані водневі флокули. Відомі також і кальцієві флокули. Регулярні спостереження дають можливість простежити за змінами флоккул з часом.

Корона

Над хромосферою розташована корона, яка поширена на відстані до 2 000 000 км від Сонця. Сонячна корона складається із двох частин — внутрішньої й зовнішньої. Внутрішня корона — це жовтувата безструктурна облямівка, що оточує хромосферу. Зовнішня корона — довгі струмені срібlistих кольорів, «промені» неправильної форми, що відходять від Сонця на значні відстані. Вид сонячної корони не завжди однаковий. Це пов'язане з періодичною зміною сонячної активності. Найбільш видовжена форма корони спостерігається під час мінімуму активності.

Корона плавно переходить у міжпланетне середовище, її форма й інтенсивність випромінювання значною мірою залежить від фази циклу сонячної активності. Температура корони доходить до $1,8 \cdot 10^6$ К.

Корона — це темне світне гало, утворене розпеченим газом навколо диска Сонця. Оскільки це світіння слабше за світіння Сонця, корона добре видна тільки під час повного сонячного затемнення, коли диск світила закритий Місяцем.

Корональні дуги

Магнітні поля сонячних плям утворюють скручені дуги поблизу поверхні Сонця — корональні дуги (арки). У них міститься плазма. Якщо магнітні лінії розриваються, то газ викидається в космос.

Повна кількість енергії, випромінюваної Сонцем, становить $3,86 \cdot 10^{33}$ ерг/с, але лише одну двохмільярдну частину цієї енергії одержує Земля.

На поверхню площею 1 м^2 , розташовану перпендикулярно до сонячних променей за межами земної атмосфери, припадає 1,36 кВт променистої енергії Сонця.

Ефективна температура Сонця — 5800°C .

Запитання до учнів у ході викладу нового матеріалу

1. Чому температура сонячної корони вища від температури поверхні Сонця?
2. Де на Сонці і чому температура досягає сотень тисяч градусів?
3. Відносне тепловиділення людини складає 1 Вт/кг. Порівняти з відносним тепловиділенням Сонця.
4. Чому середня молярна маса речовини Сонця ($0,61 \cdot 10^{-3}$ кг/моль) менше, ніж молярна маса водню ($1 \cdot 10^{-3}$ кг/моль) і гелію ($4 \cdot 10^{-3}$ кг/моль), з яких воно складається?
5. Звідки з'явилися в речовині Сонця важкі хімічні елементи (вуглець, кисень, залізо та інші)?
6. Що сталося, якщо б на Сонці зникла сила газового тиску?

IV. ЗАКРІПЛЕННЯ НОВОГО МАТЕРІАЛУ

Завдання 24–1. Прояви сонячної активності.

Закінчіть речення.

- Сонячні плями утворюються...
- Хромосферні спалахи виникають...
- Протуберанці спостерігаються...
- Гранули містяться...
- Факели розташовані...:
 - а) у фотосфері;
 - б) у хромосфері;
 - в) у короні.

Завдання 24–2. Сонце як джерело енергії

Спочатку обчисліть, а потім знайдіть правильну відповідь.

1. Сонячна стала дорівнює $1,4 \text{ кВт} (\text{м}^2 \cdot \text{с})$. Чому дорівнює енергія Сонця (в джоулях), яка випромінюється за 1 с?
2. Яку кількість сонячної енергії (в джоулях) одержує щосекунди Земля, якщо ця енергія складає одну $1/(2 \cdot 10^6)$ частину повної сонячної енергії?
3. Яку суму (в грн) необхідно сплатити за енергію, яку щосекунди отримує Земля від Сонця? Вартість $1 \text{ кВт} \cdot \text{год}$ візьміть за чинними тарифами (свою відповідь запишіть окремо).
 - а) $2 \cdot 10^9$;
 - б) $3 \cdot 10^{15}$;
 - в) $4 \cdot 10^{26}$;
 - г) $2 \cdot 10^{17}$;
 - д) $1 \cdot 10^{34}$;
 - е) $1 \cdot 10^{20}$.

Завдання 24–3. Утворення на Сонці

Розв'яжіть задачі, враховуючи, що радіус Сонця $700 \cdot 10^3 \text{ км}$, а сонячний диск ми бачимо під кутом $32''$. Отримані результати звірте з наведеними тут і вкажіть номер правильної відповіді.

1. Під яким кутом (у секундах) ми бачимо сонячну пляму такого розміру, як Земля?
2. Найбільша сонячна пляма спостерігалася під кутом 4. Які лінійні розміри (у кілометрах) мала ця пляма?
3. Око розрізняє кути до 3. Які розміри (у кілометрах) повинна мати сонячна пляма, щоб її можна було бачити неозброєним оком?
4. Лінійні розміри великих гранул фотосфери досягають 1000 км . Під яким кутом (у секундах) видно такі гранули із Землі?
 - а) 1,37;
 - б) 18;
 - в) 66 000;
 - г) 175 000;
 - д) 130 000;
 - е) 90 000.

Що ми дізналися на уроці

- $R_{\odot} = 109R_{\oplus}$, $M_{\odot} = 1,99 \cdot 10^{30} \text{ кг} = 330\,000M_{\oplus}$, $V_{\odot} = 1,3 \cdot 10^6 \text{ м}^3$.

- Середня густина — усього $1,4 \text{ г/см}^3$, хоча в центрі Сонця вона досягає 150 г/см^3 . Прискорення вільного падіння на поверхні Сонця дорівнює $27,9g$, а друга космічна швидкість — 618 км/с .
- Щомиті Сонце випромінює $3,84 \cdot 10^{26} \text{ Дж}$ енергії, що в мас-енергетичному еквіваленті відповідає зменшенню маси на $4,26 \text{ млн тонн}$ за секунду. Температура поверхні Сонця дорівнює 5800 К , у центрі Сонця температура досягає $15\,000\,000 \text{ К}$.
- Зоряна величина Сонця дорівнює $-26,7^m$; це найяскравіший об'єкт на земному небі.
- Сонце обертається навколо осі, нахиленої до площини земної орбіти на $82^\circ 45'$. (На екваторі кутова швидкість — 1 оберт за 25 діб, біля полюсів — 1 оберт за 30 діб).
- Внутрішня будова Сонця — ядро (зона термоядерних реакцій), зона променистого переносу, конвекційна зона; атмосфера Сонця — фотосфера, хромосфера, сонячна корона.
- Активні утворення: плями, спікули, флокули, протуберанці, сонячні спалахи (причина — магнітне поле Сонця).

V. ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ

Читати § 18, 19 (п.1,3).

Урок 25/IV–6

Тема. Джерело сонячної енергії. Місце Сонця на діаграмі Герцшпрунга—Рессела. Сонячна активність, сонячно-земні зв'язки

Цілі:

- *навчальна:* продовжити формування понять про Сонце, космічне явище сонячної активності; розглянути фізичні процеси взаємодії сонячної плазми й магнітних полів, циклічність сонячної активності; роль сонячного випромінювання в існуванні й розвитку життя на Землі, взаємодію сонячного вітру з магнітним полем Землі, виникнення магнітних бур і полярних сьвів; вплив проявів сонячної активності на загальний стан і здоров'я людей, захисні й запобіжні заходи проти шкідливого впливу сонячної активності на здоров'я людей; сформулювати вміння розв'язувати задачі на визначення чисел Вольфа за результатами спостережень (знімками Сонця);
- *розвивальна:* з метою формування наукового світогляду учнів продовжити ознайомлення учнів з методами й способами в пізнанні природи зір; продовжити розкриття ролі моделей під час вивчення реальної дійсності; пояснювати властивості космічних об'єктів, розв'язуючи задачі на використання формул молекулярної фізики й термодинаміки;
- *виховна:* сприяти правильному розумінню учнями фізики сонячної активності, її періодичності й впливу на геосферні процеси й людину, у тому числі зв'язку магнітних бур і здоров'я людей; здійснювати патріотичне виховання під час ознайомлення учнів з визначною роллю українських учених (О. Л. Чижевського, В. І. Вернадського й ін.) у дослідженні сонячно-земних зв'язків; політехнічне й екологічне виховання під час викладу матеріалу про промислове використання сонячної енергії.

Нові поняття: число Вольфа, магнітні бури, полярні сьвів.

- *Учні повинні знати:* основні форми проявів сонячної активності.
- *Учні повинні вміти:* характеризувати причини виникнення проявів сонячної активності внаслідок взаємодії сонячної плазми й магнітних полів; пояснити сутність явищ магнітних бур і полярних сьвів; робити судження про результати впливу сонячної активності на атмосферні, кліматичні та біосферні процеси.
- *Учні повинні вміти розв'язувати задачі:* на взаємозв'язок різних фізичних параметрів Сонця.
- *Міжпредметні зв'язки:* природознавство, математика, фізика.

Демонстрації:

- 1) Зображення атмосфери та корони Сонця.
- 2) Схема внутрішньої будови Сонця.
- 3) Зображення окремих активних утворень в атмосфері Сонця (плями, протуберанці, спалахи, корональні діри тощо).

Технічні засоби навчання, наочне приладдя: мультимедійний проектор, комп'ютер, CD-презентація «Сонячна активність»; атлас з астрономії.

Обладнання: комп'ютер, мультимедійний проектор, екран; презентація «Сонячна активність»; атлас з астрономії; робочий зошит з астрономії.

План заняття

Час	Метод навчання	Зміст роботи	Наочне приладдя, ТЗН
0,5 хв	Бесіда	Організаційний момент Перевірка готовності учнів до уроку. Стимулювання діяльності учнів, забезпечення їхньої загальної готовності, своєчасного й організованого початку уроку	
2 хв	Контрольне опитування	Актуалізація знань учнів Учитель з'ясовує ступінь засвоєння матеріалу попереднього уроку	
25 хв	Лекція	Пояснення нового матеріалу 1) Джерело сонячної енергії. 2) Сонячна активність (основні форми, механізм, періодичність). 3) Сонячно-земні зв'язки: роль випромінювання Сонця в існуванні життя; взаємодія сонячного вітру з магнітним полем Землі; вплив проявів сонячної активності на атмосферу, клімат, біосферу, людину й техніку	Презентація «Сонце»
10 хв		Закріплення нового матеріалу Виконання практичної роботи № 5 «Визначення чисел Вольфа за спостереженнями у шкільний телескоп чи за знімками Сонця»	
1 хв		Пояснення домашнього завдання	
		Домашнє завдання Читати § 19 (п. 2.), 20	

ХІД УРОКУ

I. ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ МОМЕНТ

II. АКТУАЛІЗАЦІЯ ЗНАНЬ УЧНІВ

1. Що таке Сонце? Сформулюйте визначення цього поняття.
2. Яка відстань від Землі до Сонця? Чим Сонце відрізняється від Землі й інших планет Сонячної системи?
3. Які основні характеристики Сонця: маса, розміри (порівняно із земними), вік, хімічний склад, стан речовини, колір, температура видимої поверхні, блиск і світність Сонця?
4. Що характеризує й чому дорівнює сонячна стала? Чому її так називають?
5. Яка внутрішня будова Сонця? Дайте коротку характеристику ядру, зоні променистого переносу, зоні конвекції й атмосфері

(фотосфері, хромосфері й короні) Сонця. Як обчислити параметри внутрішньої будови Сонця?

6. Що являють собою чорні й світлі плями на Сонці? Чому вони виникають?
7. Чому світить Сонце? Поясніть причини виділення енергії в надрах Сонця.
8. Чому Сонце «живе» без істотних змін протягом мільярда років? Поясніть причини цього космічного процесу.
9. Як Сонце впливає на Землю й життя людей?

Декілька учнів виконують завдання.

1. Сонце — це...:
 - а) зоря;
 - б) планета;
 - в) комета.
2. Маса Сонця...:
 - а) дорівнює масі Місяця;
 - б) дорівнює масі Землі;
 - в) в 333 000 разів більше за масу Землі;
 - г) в 3 мільярди разів більше за масу Землі.
3. Сонце — це...:
 - а) червона зоря класу М;
 - б) жовтогаряча зоря класу К;
 - в) жовта зоря класу G;
 - г) біла зоря класу А.
4. Назвіть правильний варіант твердження.
 - а) Сонце — найбільша з відомих зір;
 - б) Сонце — найменша з відомих зір;
 - в) Сонце збігається за розмірами із Землею;
 - г) Сонце більше за Землю за розмірами в 109 разів.
5. Температура на поверхні Сонця дорівнює...:
 - 1) 3000 °C;
 - 2) 4500 °C;
 - 3) 10 000 °C;
 - 4) 6000 °C.

У ході опитування й бесіди потрібно зосередити увагу учнів на таких положеннях:

1. Сонце складається із плазми — іонізованого атомарного газу, заряджених частинок, що хаотично рухаються й взаємодіють між собою й зовнішніми електромагнітними полями.

2. Сонце має як загальне порівняно слабке магнітне поле, так і місцеве (локальне) потужне поле на окремих ділянках атмосфери.
3. У результаті взаємодії заряджених частинок і магнітного поля змінюються характеристики руху (швидкість, напрям) і енергія частинок.
4. Земля перебуває усередині зовнішніх шарів сонячної атмосфери — корони.
5. Сонце впливає на процеси в навколоземному космічному просторі й на Землі.
6. Від Сонця залежить існування життя на нашій планеті.

III. ПОЯСНЕННЯ НОВОГО МАТЕРІАЛУ

1. Джерело сонячної енергії

Сонце і зорі світять тому, що в їхніх надрах відбуваються термоядерні реакції перетворення ядер атомів Гідрогену в ядра атомів Гелію. Ви вже знаєте, що маси зір у сотні тисяч разів, у мільйони разів перевищують масу Землі. Така величезна маса зумовлює надзвичайно сильний тиск верхніх шарів речовини зорі на речовину поблизу її центра. Температура і тиск вглиб зорі дуже швидко зростають: на поверхні Сонця температура видимої поверхні Сонця становить близько 6000 К, у центрі Сонця — температура зростає до 15 000 000 К за тиску $2 \cdot 10^{18}$ Па! У надрах більш масивних зір температура і тиск ще вищі.

Зорі майже цілком складаються з водню і гелію: Сонце містить 71 % водню, 26,5 % гелію і лише 2,5 % інших, важчих хімічних елементів. Під дією високих температур і тисків у центрах зір ядра атомів Гідрогену — протони — зближуються так тісно, що сили ядерного тяжіння долають сили електричного відштовхування. У результаті цієї взаємодії протони об'єднуються, утворюючи ядра атома Гелію. Процес триває у 3 етапи з величезним виділенням енергії (рис. 25.1).

Два протони p поєднуються в одне ядро ${}^2\text{H}$ атома Гідрогену-2, при цьому один із протонів, випускаючи електрон e^- , перетворюється на нейтрон.

Ядро ${}^2\text{H}$ атома Гідрогену-2 поєднується із протоном p в одне ядро ${}^3\text{He}$ атома Гелію-3, випускаючи квант світла γ й нейтрино ν .

Два ядра ${}^3\text{He}$ атомів Гелію-3 поєднуються в ядро ${}^4\text{He}$ атома Гелію-4, випускаючи два протони p .

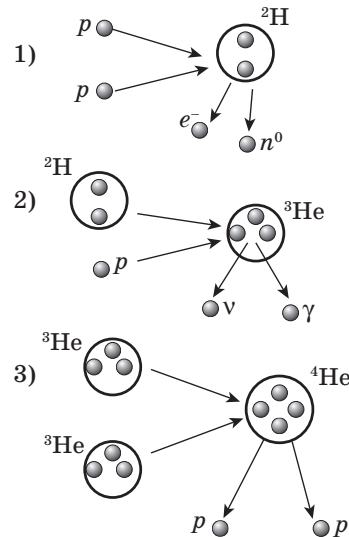


Рис. 25.1. Термоядерні реакції в надрах Сонця

Ці термоядерні реакції називаються реакціями протон-протонного циклу. У більш масивних зорях, крім реакцій протон-протонного циклу, протікають потужніші термоядерні реакції азотно-вуглецевого циклу, у яких ядра атомів Нітрогену й Карбону є каталізаторами термоядерних реакцій перетворення водню на гелій.

Водень — «зоряне паливо», що згоряє у надрах зір, для того щоби вони могли жити й світити. Із часом біля центра Сонця й інших зір водню дедалі меншає, натомість гелію — більшає.

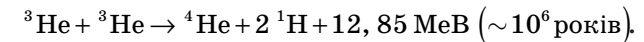
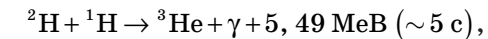
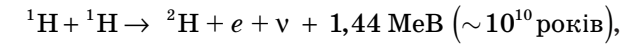
Наше Сонце — жовта, середня за своїми характеристиками зоря класу G, яка живе вже протягом 5 мільярдів років і буде світити ще майже 8 мільярдів років.

Енергетика Сонця й зір заснована на термоядерних реакціях — процесах перетворення одних елементарних частинок в інші, що супроводжуються синтезом більш важких атомних ядер з більш легких і відбуваються за високих $T > 10^7$ К температур і тисків із виділенням величезної кількості енергії.

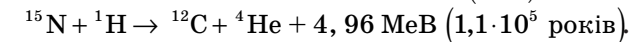
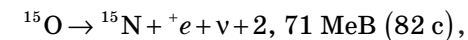
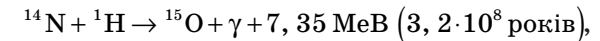
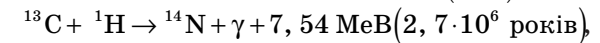
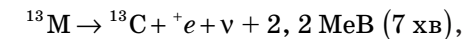
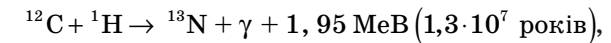
У надрах нормальних зір відбуваються термоядерні реакції перетворення ядер атомів Гідрогену в ядра атомів Гелію. Загальне значення виділеної енергії, яку відносять елементарні частинки (γ -кванти, нейтрино й т. ін.), що виникли в ході взаємодії атомних ядер, еквівалентне різниці між сумою мас ядер атомів Гідрогену, що вступають у реакцію, й масою ядра атома Гелію, що утворюється.

Основні типи реакцій, що відбуваються в надрах зір

1. Протон-протонний цикл, що протікає за температур $T \leq 1,8 \cdot 10^7$ К (коли описують хід термоядерних реакцій, повідомляють значення енергії, що виділяється в ході кожної окремої реакції ($1 \text{ MeV} = 1,6 \cdot 10^{13} \text{ Дж}$), й у дужках тривалість реакції — час, впродовж якого кількість частинок зменшується вдвічі):



2. Азотно-вуглецевий цикл (CNO), у якому ядра атомів Нітрогену й Карбону відіграють роль каталізаторів реакції, що протікає за температур понад $1,8 \cdot 10^7$ К із установленням рівноважних концентрацій ізотопів ^{14}N (95 %), ^{12}C (4 %), і ^{13}C (1 %) за масою:



Для зір із масою $M \sim M_{\odot}$ основним є протон-протонний цикл, для масивних зір ($M > M_{\odot}$) — азотно-вуглецевий цикл, що протікає з більшою швидкістю й більшим виділенням енергії, ніж протон-протонний.

Спрощені пояснення для учнів гуманітарних класів

Наше Сонце й інші зорі можна порівняти з надпотужними — потужністю в мільярди мільярдів земних водневих бомб! — природними термоядерними бомбами, що безупинно вибухають протягом мільйонів і мільярдів років.

Чому ж цей надпотужний вибух не розриває, не розпорошує зорю в космічному просторі? Цьому заважає сила всесвітнього тяжіння.

Маса зір настільки велика, що сила тяжіння заважає речовині зорі розлітатися в навколишньому просторі, притягує його до центра зорі.

На кожну частинку речовини усередині зорі постійно діють дві сили: одна з них — сила тиску світлових променів і розпеченого газу, що виникає в ході термоядерних реакцій у надрах зорі, від-

штовхує цю частку речовини геть від зорі; інша — сила тяжіння, що намагається притягнути її назад. Ці сили рівні за величиною, але протилежні за напрямом. Вони врівноважують одна одну впродовж мільйонів і мільярдів років.

Сонце й зорі — природні термоядерні реактори із гравітаційним утриманням плазми. Термоядерні реакції в надрах Сонця й зір «саморегулюються»: ріст температури в центрі зорі за рахунок посилення потужності термоядерних реакцій веде до зростання газового (променевого) тиску й розширення зорі в просторі. Збільшення розмірів зорі знижує тиск шарів речовини, що розміщені вище, на ті, що розташовані нижче, під дією сили ваги, що, у свою чергу, зменшує температуру й інтенсивність термоядерних реакцій у центрі зорі.

Далі можна ознайомити учнів з методами обчислення внутрішніх параметрів Сонця й зір на основі газових законів. Під час викладу цього матеріалу корисно використовувати схеми, що демонструють зміну температури й тиску в надрах Сонця. Їх застосування допомагає пояснити виникнення конвекції, її роль у переносі енергії від ядра зорі до зовнішніх шарів, а також природу й механізм виникнення сонячних плям і смолоскипових полів.

За допомогою законів фізики обчислимо температуру та густину Сонця.

Знаючи радіус і масу Сонця, знайти температуру, тиск та густину Сонця в точці, віддаленій на половину радіуса від центра.

Дано: $R_{\odot}$, $M_{\odot}$, $R_{\odot}/2$

Знайти: T — ? p — ? ρ — ?

Розв'язання

$$\rho = \frac{M_{\odot}}{V_{\odot}} = \frac{M_{\odot}}{\frac{4}{3}\pi R_{\odot}^3} = 1,4 \text{ г/см}^3 = 1400 \text{ кг/м}^3,$$

$$p = \frac{mg}{2\rho} = \frac{V\rho g}{2S} = \frac{R/2 \cdot S\rho g}{2S} = \frac{\bar{\rho}Rg}{2 \cdot 2} = 6,7 \cdot 10^{13} \text{ Па},$$

$$pV = \frac{m}{\mu}RT \Rightarrow T = \frac{pV\mu}{V\rho R} = \frac{p\mu}{\bar{\rho}R} = 2,8 \cdot 10^6 \text{ К}.$$

Тиск стовпу речовини дорівнює вазі цього стовпу на висоті $\frac{R_{\odot}}{2}$, $\frac{g}{2}$ — середнє значення прискорення.

Отримані результати близькі до точних розрахунків.

$$\rho = 1300 \text{ кг/м}^3, p = 6,1 \cdot 10^{13} \text{ Па}, T = 3,4 \cdot 10^6 \text{ К}.$$

2. Сонячна активність

Сонячна активність — комплекс явищ, що охоплюють всю атмосферу Сонця в областях розмірами 10^5 – 10 км за час 10^6 – 1 с.

Усі прояви сонячної активності виникають у результаті посилення й (або) взаємодії місцевих (локальних) магнітних полів у верхній частині конвективної зони в атмосфері.

Істотними особливостями сонячної активності є її циклічність і вплив на геосферні оболонки й навколоземний космічний простір.

Активні області виникають внаслідок спливання потужної трубки магнітного потоку з магнітного шару біля основи конвективної зони. Разом із плазмою піднімаються «вморожені» у неї магнітні поля з індукцією $0,2$ – $0,3$ Тл, що виникають внаслідок неоднорідності обертання Сонця й мають складну структуру, яка в ході руху набуває петлеподібної форми. Гігантські стійкі біполярні магнітні області мають два полюси протилежної полярності, що з'єднуються системою арок завдовжки до $30\,000$ км і заввишки до 5000 км. Вершини арок повільно піднімаються; біля полюсів арок сонячна речовина повільно стікає вниз (рис. 25.2). У фотосфері активні області розщеплюються на безліч тонких трубок, напруженість магнітного поля у яких становить $1 \cdot 10^3$ – $2 \cdot 10^3$ Е. Вони утворюють смолоскипові поля. Области перетинання тонких магнітних трубок з фотосферою спостерігаються у формі груп сонячних плям.

Дехто з учених сумнівається в існуванні трубок магнітного потоку й вважає, що сонячна плазма, яка циркулює в супергрануляційних осередках, сама може посилювати магнітне поле до значної напруженості й породжувати біполярні магнітні конфігурації.

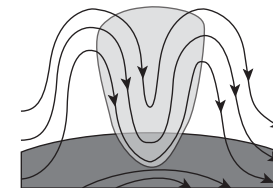


Рис. 25.2. Утворення протуберанців

Зазвичай магнітне поле на ділянці сонячної поверхні має індукцію 10^{-4} Тл. Воно не може управляти рухом плазми, що вільно бере участь у конвекції, оскільки густина кінетичної енергії плазми $W = 125 \text{ Дж/м}^3$ вища за густину енергії магнітного поля $4 \cdot 10^{-3} \text{ Дж/м}^3$. Магнітне поле біполярної магнітної області пригнічує конвекцію, якщо його індукція досягає $0,2$ Тл; густина енергії

магнітного поля виявляється істотно вищою за густину кінетичної енергії плазми, що бере участь у конвективному русі, а магнітне поле не може рухатися поперек ліній індукції.

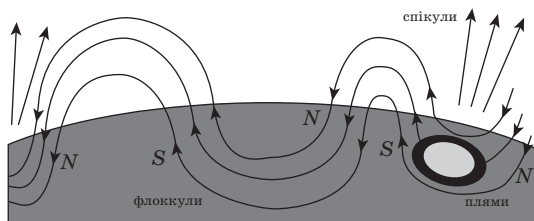


Рис. 25.3. Рух речовини в сонячній атмосфері.
Арки біполярних магнітних областей

За масштабами і часом прояви сонячної активності розділяються на повільнозмінні — коронарні діри, смолоскипові поля, плями, фотосферні волокна — і швидкозмінні — протуберанці, хромосферні спалахи й т. ін. (рис. 25.3).

Коронарні діри — області зниженої яскравості корони, у яких силові лінії великомасштабного магнітного поля, пронизуючи всю корону, ідуть у міжпланетний простір — спостерігаються в рентгєнівському діапазоні довжин хвиль у вигляді чорних провалів на тлі яскравого саява корони. Яскраві області над центрами активності з підвищеною густиною плазми називаються коронарними конденсаціями.

Смолоскипові поля (флюїди) — області ослаблення магнітних трубок (місцевих магнітних полів) до індукції 0,05–3 мТл, де на поверхню Сонця «проривається» більш нагріта (до 10 000 К) сонячна речовина. Спостерігаються у вигляді світлих ділянок фотосфери, що часто оточують сонячні плями. Розміри смолоскипових полів — від 5000 до 50 000 км, середній «час життя» — місяці (до року). У роки максимумів сонячної активності смолоскипові поля займають до 10 % поверхні Сонця.

Сонячні плями — темні проміжки тіні, оточені світлішою півтінню, — області сонячної поверхні температурою близько 4000 К і розмірами від 1 до 35 000 км (площа сонячної плями у квітні 1947 р. становила 18 130 000 000 км²), що виникають там, де місцеві магнітні поля індукцією 0,4–0,5 Тл, «спливаючи» на поверхню Сонця, пригнічують конвекцію. Позбавлена підігріву «знизу» ділянка сонячної поверхні остигає й за контрастом з навколишньою «гарячою» поверхнею здається чорною плямою. Кількість, величи-

на й розташування плям і груп плям постійно змінюються. Середній «час життя» плями — від декількох діб до декількох тижнів (максимум — до 200 діб). Як правило, плями утворюються групами, у яких вони концентруються переважно навколо ведучої (західної) і веденої (східної), що мають різну полярність, причому силові лінії магнітного поля ніби виходять із однієї плями й входять в інші.

Протуберанці — порівняно холодні густі хмари сонячної речовини ($T \sim 10^4$ К), викинуті в хромосферу внаслідок прискорювальної дії магнітних трубок місцевих полів на рух сонячної речовини на висоту близько 10^4 км. Протуберанці мають різноманітну вигадливу форму. Речовина спокійних протуберанців, що плавають у хромосфері до 1 року, лежить у поглибленнях «прим'ятих» арок магнітного поля. В активних, або еруптивних, протуберанцях, що вирізняються швидким розвитком, існують протягом тижнів, рідше — місяців, а в довжину сягають до 150 000–250 000 км, плазма тече уздовж ліній магнітного поля зі швидкістю до 700 км/с.

Хромосферна сітка спостерігається в ультрафіолетовій частині спектра в хромосфері у вигляді сукупності великих осередків розмірами $2 \cdot 10^4 - 3 \cdot 10^4$ км, що покривають сонячний диск й усередині яких газ розтікається від центра зі швидкістю 0,3–0,4 км/с до границь, де магнітне поле посилюється до 10^{-15} Е. Середній «час життя» окремого осередку — до кількох діб.

Сонячні хромосферні спалахи виникають у групах плям із протилежним напрямом магнітних полів під час їх взаємного знищення (анігіляції). Механізм їх виникнення такий: між плямами різної полярності виникає нейтральний шар, магнітна індукція в якому дорівнює нулю; за певних умов у ньому може виникнути обумовлений рухом електронів й іонів плазми електричний струм, що нагріває плазму за рахунок енергії магнітного поля. Оскільки плазма має дуже невеликий опір, за звичайних умов її нагрівання в нейтральному шарі незначне, але поля «вичавлюють» плазму в нейтральний шар і стискають його. У міру стиску нейтрального шару збільшується швидкість частинок — носіїв струму; електрони прискорюються сильніше за масивні іони. Плазма стає неоднорідною, у ній виникають турбулентні рухи, завихрення, зростають електричний опір і температура плазми (до 10^7 К). В області розмірами до 1000 км виділяється до $10^{22} - 10^{25}$ Дж/с енергії (як за одночасного вибуху мільярдів термоядерних бомб). Під час спалаху утворюється велика коронарна хмара температурою $2 \cdot 10^7 - 3 \cdot 10^7$ К (до 10^8 К). Спалахи (до 10 за добу) породжують потужне ультрафі-

олетове, рентгенівське й радіовипромінювання, викид заряджених частинок зі швидкістю до 30 000 км/с — сонячні космічні промені.

У вершинах гранул щохвилини спостерігаються тисячі й десятки тисяч короткочасних спалахів — блінкерів («блимавок») потужністю до 10^3 Мт і розмірами до 10^4 км. Можливо, саме вони породжують сонячний вітер і передають частину енергії від «холодної» фотосфери «гарячій» короні.

У глибині хромосфери, в 1500–2500 км над фотосферою в основах окремих коронарних петель, що виникають в активних областях після сонячних спалахів, протягом десятків годин спостерігаються «губчасті» утворення — «сонячні мохи», де розпечена до 10^7 К плазма сильно й зовні безладно «перемішана» з відносно «холодною» (до 6000 К) сонячною речовиною.

У районі сонячних полюсів спостерігаються потужні вихори й смерчі — висхідні потоки сонячної речовини зі швидкістю колдових рухів до 500 000 км/год.

Кількісна характеристика сонячної активності — числа Вольфа — визначається за формулою: $W = 10g + f$, де g — кількість груп плям, f — кількість всіх спостережуваних плям. Іншими, більш точними індикаторами сонячної активності є сумарна площа плям й інтенсивність сонячного радіовипромінювання.

Сонячний цикл — періодичний процес появи й розвитку на всій поверхні Сонця активних областей, обумовлених «спливанням» в атмосферу сильних магнітних полів.

Середній проміжок між двома максимумами сонячної активності дорівнює 11,1 року.

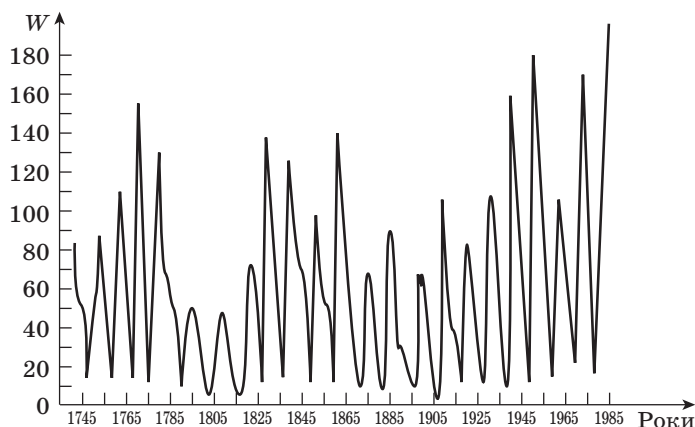


Рис. 25.4. 11-річний цикл сонячної активності

Під час мінімуму сонячної активності для зовнішнього спостерігача корона «стискується» біля полюсів, над якими видні лише тонкі промені — коронарні щіточки. Іноді протягом тижнів у мінімумі сонячної активності у фотосфері не спостерігається жодної плями.

На початку циклу на широтах $\pm 30^\circ$ з'являються окремі дрібні сонячні плями. Період росту активності триває близько 4,2 року. У цей час збільшуються число й розміри окремих плям і груп плям, зона їх появи доходить до сонячного екватора, зокрема до $\pm 15^\circ$ у даному максимумі активності. У сонячній короні над центрами активності в середніх широтах розвиваються потужні довгі коронарні промені. У максимумі активності число Вольфа перевищує 150–200 одиниць. Сонячна корона набуває «розпатланої» сферичної форми. Концентрація рентгенівського й короткохвильового випромінювання в 3–4 рази вища, ніж у мінімумі.

Далі відбувається 7-річний спад активності, у якому зона появи сонячних плям спускається до екватора Сонця, зокрема до широт $\pm 8^\circ$; потім після недовгого затишку на широтах $\pm 30^\circ$ утворюються плями нового циклу.

Зазвичай комплекс явищ сонячної активності відбувається в такій послідовності: під час спливання трубки магнітного потоку посилюється магнітне поле, після чого у фотосфері з'являється смолокипове поле, що розширюється й збільшує свою яскравість. За добу у ньому виникають і розвиваються крихітні пори, що поступово розростаються в чорні плями й групи плям: через 10 діб їхні розміри збільшуються до 10 000 км. У хромосфері й короні відбуваються бурхливі процеси. Потім активність області поступово зменшується: через 2–3 місяці плями зникають, але ще довго, протягом місяців над цим місцем своєрідним пам'ятником буде висіти величезний протуберанець, і лише через рік активна область зникає повністю.

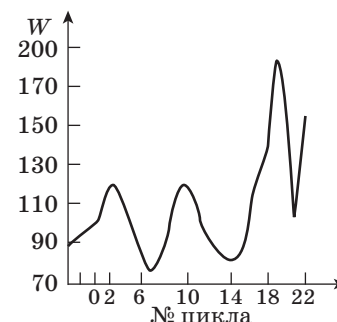


Рис. 25.5. «Віковий» цикл сонячної активності

Протягом цього циклу всі ведучі сонячні плями в Північній півкулі мають ту саму полярність, а в Південній півкулі — протилежну. У наступному циклі полярності змінюють свій знак. Полярні магнітні поля мають найбільшу напруженість (до 1 Е) в епоху мінімуму активності й зникають, змінюючи знак біля полюсів в епохи максимумів. Повернення до попередньої магнітної ситуації відбувається через 22 роки, спричиняючи існування 22-річного циклу. Відставання за фазою явищ у високих і низьких широтах веде до відставання на 5 років явищ, пов'язаних з високоширотним магнітним полем Сонця і їхнім впливом на магнітосферу Землі.

Сусідні цикли тісно пов'язані між собою. Відносна інтенсивність 11-річних циклів змінюється з 80–90-річним («віковим») циклом сонячної активності. Установлено існування 1800-річного циклу; можливе існування більш тривалих циклів.

3. Сонячно-земні зв'язки

Роботи вчених Е. Брикнера, А. Дугласа, Ч. Брукса, О. Петерсона, О. Л. Чижевського, В. І. Вернадського дозволили достеменно встановити, крім вищезгаданих, ряд інших порівняно короткочасних циклів природних явищ: «вікових» — тривалістю 169, 222, 400 і більше років і «внутрівікових» — тривалістю 1, 2, 3, 4, 6, 11, 23, 33, 80 років. Найтриваліші з них мають гравітаційну природу й впливають на всі природні оболонки Землі. Цикли середньої тривалості залежать від коливань сонячної активності: квазідворічний, 11-річний, 22-річний, 100-річний цикли мають найбільшу фундаментальність нарівні із 27-добовим синодичним періодом обертання Сонця навколо своєї осі і впливають на магнітне поле, атмосферу й біосферу Землі. Найбільш короткочасні цикли пов'язані з нерівномірним опроміненням Землі космічними частками, область їхньої дії — атмосфера.

Стан навколосезонного космічного простору, магнітосфери й верхніх шарів атмосфери Землі обумовлено космічною погодою, основними параметрами якої є температура й концентрація компонент низькоенергетичної плазми, магнітні й електричні поля й струми, спектральний склад електромагнітного випромінювання й потоків заряджених частинок.

Видиме випромінювання Сонця практично не змінюється з часом. Основними типами змінюваних у часі активних сонячних випромінювань є: 1) короткохвильове (ультрафіолетове й рентгєнівське), здатне здійснювати іонізацію й дисоціацію молекул ат-

мосфери; 2) сонячний вітер і корпускулярні потоки з їхніми магнітними полями, що взаємодіють з магнітосферою (енергія окремих поривів сонячного вітру еквівалентна енергії ядерного вибуху потужністю 10^{-1} Мт). Під час переходу від мінімуму до максимуму 11-річного сонячного циклу повна енергія потоку іонізуючого випромінювання збільшується втричі.

У максимумі сонячного циклу температура в тропіках на $0,5^{\circ}$ вище, ніж у мінімумі; збільшується кількість гроз, зростає амплітуда коливань атмосферного тиску; посилюється загальна циркуляція атмосферних потоків. У середніх широтах після підвищення сонячної активності зростає повторюваність циклонів, що веде до збільшення кількості опадів. Ряд учених пояснює це послідовним поетапним переданням енергії з верхніх шарів атмосфери в тропосферу; коливання ультрафіолетового випромінювання впливають на концентрацію озону й змінюють температуру повітря, що спричиняє відхилення внаслідок обертання Землі вертикальних повітряних потоків, які породжують східні й західні вітри. Від рівня сонячної активності сильніше залежать літні температури стратосфери.

Передбачається, що періодичність «малих льодовикових періодів» пов'язана із широкомасштабними змінами рівня сонячної активності (період близько 2500 років).

Численні ефекти впливу сонячної активності на біосферу здобули серйозне морфологічне й статистичне обґрунтування, але механізм їхнього фізичного впливу дотепер неясний, оскільки повний потік і спектральні складові сонячного випромінювання поблизу земної поверхні змінюються лише на частку відсотка. Однак всі живі організми чутливі до зовнішніх електромагнітних полів низьких і наднизьких частот, що впливають на фізико-хімічні властивості живих клітин. Передбачається, що організми використовують квазіперіодичні зміни параметрів зовнішнього середовища, у тому числі електромагнітних полів, для синхронізації біоритмів шляхом «настроювання» на зовнішню частоту, для орієнтації в просторі й т. ін. Так, якщо досить різко змінюється магнітне поле, в організмі людини одночасно спостерігається підвищення кров'яного тиску із одночасним спазмом кровоносних судин, внаслідок чого бактерицидні властивості крові погіршуються.

На поверхні Землі реєструються електромагнітні поля із частотою 10^4 – 10^5 Гц і найбільшою інтенсивністю в діапазоні наднизьких частот, що чутливо реагують на будь-які прояви сонячної

активності. Так, через 1,5–2 доби після спалаху на Сонці напруженість магнітного поля в іоносфері на частоті 8 Гц змінюється більш ніж у 10 разів. В епоху максимумів сонячної активності зростає число інфарктів й інсультів, випадків виробничого й дорожнього травматизму, епідемічних захворювань, епізоотій.

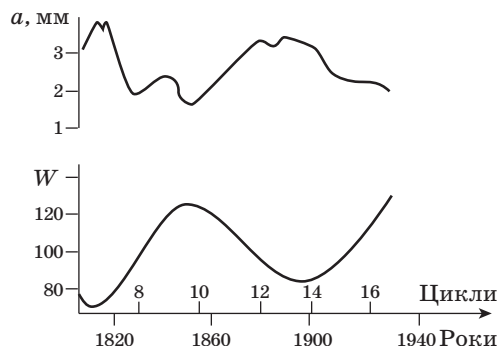


Рис. 25.6. Зміна радіального приросту сосни протягом 90-річного циклу (у мм)

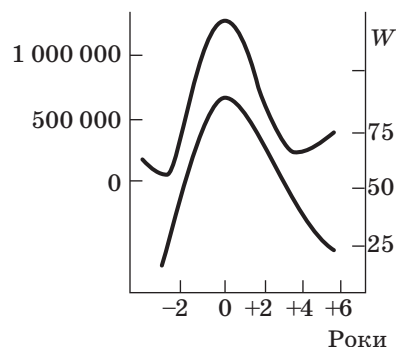


Рис. 25.7. Усереднена за циклами сонячної активності кількість захворювань холерою в Росії в 1823–1923 рр. (за О. Л. Чижевським)

Завдання земної екології передбачають здійснення астрономічних спостережень, а також спостережень із космосу не тільки за Землею, але й за Сонцем і ближнім космосом. У міру свого розвитку сучасна технологічна цивілізація стає дедалі більш уразливою до дії космічних факторів.

Сонячна активність впливає не тільки на магнітосферу, атмосферу й біосферу Землі, але й на техніку, створену людьми. У роки активного сонця:

- погіршується зв'язок у короткохвильовому, високочастотному й ультрависокочастотному діапазонах, телефонний і телеграфний зв'язок, особливо в освітленій сонцем півкулі й під час іоносферних бур;
- спотворюються дані геомагнітних зйомок;
- відбуваються збої й катастрофи в енергетичних мережах;
- посилюється корозія магістральних трубопроводів;
- зменшується строк експлуатації ШСЗ через посилення гальмування у верхніх шарах атмосфери, що розбухає (15.07.2000 р. виїшла з ладу космічна рентгенівська обсерваторія ASCA (Японія)).

Слабко захищені від потужних проявів сонячної активності електронні й комп'ютерні системи й мережі, системи навігації, системи керування й контролю атомних станцій та військових об'єктів.

1999 року була розроблена «шкала космічної погоди», що стало першою спробою здійснити систематичне дослідження всього комплексу явищ сонячно-земних зв'язків, потенційно небезпечних для земної цивілізації. Виділяються 3 категорії явищ: геомагнітні бурі, радіаційні бурі й порушення радіозв'язку. Кожна категорія розділяється на 5 рівнів: незначний (1 бал); помірний (2 бали); сильний (3 бали); дуже сильний (4 бали) і екстремальний (5 балів). Найнебезпечніші екстремальні геомагнітні бурі, що призводять до цілковитого знеструмлення мереж електроживлення, появи сильних струмів у трубопроводах і практично повного припинення радіозв'язку на всіх частотах. Екстремальні радіаційні бурі спричиняють небезпечне опромінення космонавтів, екіпажів і пасажирів висотних літаків.

...У цей час на Землі 88 % всієї енергії людство одержує за рахунок спалювання природного вуглецевого палива (щорічно спалюють 4 млрд тонн вугілля, 3,5 млрд тонн нафти, десятки трильйонів кубометрів газу, деревину, торф і т. ін.), що забруднює навколишнє середовище на 60 %. Ідея використання «безкоштовної» сонячної енергії для потреб земної енергетики лягла в основу застосування космічних технологій:

1. Орбітальні відбивачі-рефлектори для освітлення окремих плярних.
2. Орбітальні сонячні електростанції: проекти розроблені в Росії, США, Західній Європі і Японії. Проект КСЕ 2000 року передбачає виведення на екваторіальну орбіту експериментальної японської станції потужністю 10 МВт. У першій половині

XXI ст. США планує створити 60 КСЕ потужністю 5 ГВт кожна з переданням енергії на Землю у вигляді мікрохвильового променя. Існуючі сонячні батареї мають ККД близько 30 %.

Запитання до учнів у ході викладу нового матеріалу

1. Чому світить Сонце? Поясніть причини виділення енергії в надрах Сонця.
2. Назвіть основні прояви сонячної активності.
3. Як пов'язана сонячна активність з магнітною діяльністю Сонця?
4. Що являють собою плями на Сонці? Чому вони виникають? Які їх розміри?
5. Що являють собою протуберанці? Як вони виникають? Які їх розміри?
6. Яка природа хромосферних спалахів?
7. Як впливає сонячна активність на Землю?
8. Порівняйте останній цикл сонячної активності з попередніми.

IV. ЗАКРІПЛЕННЯ НОВОГО МАТЕРІАЛУ

1. Розв'язування задач
1. Упродовж якого часу маса Сонця внаслідок випромінювання зменшиться на величину маси Землі? (Відповідь: за відомої світності $L_{\odot} = E_{\odot}$ (потужності випромінювання) Сонця, згідно з СТВ, маса зорі щосекунди зменшується на $\Delta m = \frac{E_{\odot}}{c^2} = 4,26 \cdot 10^9 \text{ кг}$ — через 45 млн років.)
2. До яких наслідків призведе зменшення маси Сонця? Відповідь: із II закону Ньютона и закону Всесвітнього тяжіння:

$$\frac{mv_0^2}{r_0} = G \frac{M_0 m}{r_0^2} \text{ і } \frac{mv^2}{r} = G \frac{Mm}{r^2} \quad \frac{v^2}{v_0^2} = \frac{M}{M_0} \cdot \frac{r_0}{r}.$$

Користуючись законом збереження імпульса,

$$mvr = mv_0 r_0, \quad r = r_0 \cdot \frac{M_0}{M} \text{ і } v = v_0 \cdot \frac{M}{M_0}.$$

Відстань до планети збільшується, швидкість зменшується. Період обертання планети:

$$T = \frac{2\pi r_0}{v_0} \cdot \left(\frac{M_0}{M} \right)^2, \quad \frac{T^2}{r^3} = \frac{T_0^2}{r_0^3} \cdot \frac{M_0}{M}.$$

3. Як за Сонцем дізнаються про «геофізичні небезпечні» дні?

2. Виконання практичної роботи (див. інструкцію далі)

Що ми дізналися на уроці

- Енергетика Сонця й зір заснована на термоядерних реакціях — процесах перетворення одних елементарних частинок в інші, що супроводжується синтезом більш важких атомних ядер з більш легких і відбувається за високих $T > 10^7 \text{ К}$ температур і тисків із виділенням величезної кількості енергії.
- Сонячна активність — комплекс явищ, що охоплюють усю атмосферу Сонця в областях розмірами $10^5 - 10 \text{ км}$ за час $10^6 - 1 \text{ с}$.
- Сонце — практично невичерпне джерело енергії (екологічно чистої) на сьогоднішній день.
- Зміна потоку сонячної енергії впливає на земну атмосферу, енергопередавальні комунікації та системи зв'язку
- Сонце найбільш активне в роки збільшення кількості плям, в цей період воно випромінює у простір найбільшу кількість енергії.

V. ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ

Читати § 19 (п. 2), 20.

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 5

«Визначення чисел Вольфа за спостереженнями у шкільний телескоп чи за знімками Сонця»

Кількісна характеристика сонячної активності — числа Вольфа — визначається за формулою:

$$W = k(10g + f),$$

де g — кількість груп плям, f — кількість всіх спостережуваних плям, k — умовний коефіцієнт, що враховує якість інструменту спостережень. Крива середньорічних чисел Вольфа абсолютно чітко показує періодичні зміни числа сонячних плям. За поданою фотографією визначте число Вольфа на конкретну дату (вказано на фотографії). Для цього підрахуйте кількість плям g і повне число плям f , після чого скористайтесь формулою, наведеною вище, вважаючи коефіцієнт $k = 1$.

Зверніть увагу, що поодинокі плями також вважають групою. Так, наприклад, якщо на Сонці видно п'ять одиночних плям і ще дві групи плям: у першій три плями, а в другій — чотири,

то $g = 2 + 5 = 7$, $f = 3 + 4 + 5 = 12$, отже, $W = 7 \cdot 10 + 12 = 82$. Якщо на Сонці видно тільки одну пляму, то $W = 11$.

Результати обчислень впишіть у таблицю.

Таблиця 1

Кількість груп плям, g	Кількість плям, f	Число Вольфа, W	Висновки про ступінь сонячної активності	Примітки

Урок 26/IV–6

Тема. Міжзоряне середовище, його густина й температура. Протозорі. Утворення зір в асоціаціях. Залежність часу існування зорі від початкової маси. Стадії Головної послідовності, червоні гіганти та надгіганти

Цілі:

- *навчальна:* продовжити формування фундаментального астрономічного поняття «зоря»; ознайомити з космічними процесами існування еволюції зір і зоряних систем, поглибити, розширити й закріпити систему знань про зорі: внутрішню будову зір різних класів, термодинамічну рівновагу в надрах зір; дати уявлення про природу міжзоряного середовища, основні стадії еволюції зір; ввести поняття протозорі, білого карлика, пульсара, червоного гіганта та надгіганта, чорної діри; ознайомити із сучасними науковими поглядами щодо народження зір в асоціаціях та зоряної еволюції як важливого чинника розвитку Всесвіту в цілому;
- *розвивальна:* з метою формування наукового світогляду учнів продовжити ознайомлення учнів з методами й способами в пізнанні природи зір; розкрити ролі моделей під час вивчення реальної дійсності; продовжити формування вміння аналізувати інформацію, складати класифікаційні схеми, пояснювати властивості космічних об'єктів на основі найважливіших фізичних теорій, розв'язувати задачі на розрахунок основних фізичних характеристик зір та параметрів їх внутрішньої будови з використанням законів фізики, даних класифікаційних схем і діаграм зоряних характеристик («спектр—світність», «маса—світність» тощо);
- *виховна:* продовжити формування наукового світогляду учнів у ході ознайомлення з фізичною природою зір і зоряних систем; на основі розкриття фундаментальних природних закономірностей (причинного взаємозв'язку і взаємозумовленості явищ і процесів, переходу кількісних змін у якісні, єдності і взаємодії протилежностей) і філософських положень про матеріальну єдність і пізнанність світу під час вивчення матеріалу про космічні процеси існування та еволюції зір і зоряних систем.

Нові поняття:

- *Учні повинні знати:* ознаки та властивості міжзоряного середовища, основні стадії еволюції зір; фізичні процеси, які відбуваються в надрах зір на різних стадіях їх еволюції.
- *Учні повинні вміти:* аналізувати навчальний матеріал, використовувати узагальнений план для вивчення космічних явищ, робити висновки, пояснювати механізм стиснення газопилового комплексу, обґрунтовувати народження зір в асоціаціях, зоряну еволюцію.

Міжпредметні зв'язки: природознавство, географія, література, математика, фізика.

Демонстрації:

- 1) Космічні знімки глобул та регіонів зореутворення.
- 2) Діаграма Герцшпрунга—Рессела.

Технічні засоби навчання, наочне приладдя: мультимедійний проектор, комп'ютер, CD-презентація «Утворення зір»; атлас з астрономії.

Обладнання: комп'ютер, мультимедійний проектор, екран; презентація «Утворення зір»; атлас з астрономії; робочий зошит з астрономії.

План заняття

Час	Метод навчання	Зміст роботи	Наочне приладдя, ТЗН
0,5 хв	Бесіда	Організаційний момент Перевірка готовності учнів до уроку. Стимулювання діяльності учнів, забезпечення їхньої загальної готовності, своєчасного й організованого початку уроку	
5 хв	Бесіда	Актуалізація знань учнів Узагальнення матеріалу з теми «Характеристики зір головної послідовності, гігантів та надгігантів»	
25 хв	Лекція	Пояснення нового матеріалу 1) Міжзоряне середовище, його фізичні характеристики 2) Протозорі. Утворення зір. 3) Характеристика зір головної послідовності	Роздавальний матеріал, презентація
10 хв	Самостійна робота учнів	Закріплення нового матеріалу Розв'язування задач	
1 хв		Пояснення домашнього завдання	
		Домашнє завдання Читати § 21 (п.5), 24 (п.1)	

ХІД УРОКУ

I. ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ МОМЕНТ

II. АКТУАЛІЗАЦІЯ ЗНАНЬ УЧНІВ

- Які об'єкти зоряного неба ви знаєте?
- Які групи утворюють зорі на діаграмі Герцшпрунга—Рессела?
- Назвіть основні відмінності між зорями, які належать до різних груп зір діаграми Г—Р.
- Як розрахувати внутрішні параметри (температуру, тиск і т. ін.) у надрах зорі? Продиктуйте ці формули для запису на дошці. Чи можна за цими формулами обчислити відповідні характеристики Сонця?
- Яку внутрішню будову мають зорі: блакитні гіганти; білі зорі головної послідовності; жовті зорі головної послідовності; червоні зорі головної послідовності; червоні гіганти? У чому подібність і в чому відмінність між їхніми внутрішньою будовою і будовою Сонця? Чому?

III. ПОЯСНЕННЯ НОВОГО МАТЕРІАЛУ

1. Міжзоряне середовище, його фізичні характеристики

Міжзоряне середовище — це речовина, яку спостерігають у просторі між зорями.

Лише порівняно недавно вдалося довести, що зорі існують не в абсолютній порожнечі і що космічний простір не цілком прозорий. Тим не менш такі припущення висловлювали давно. Ще в середині XIX ст. російський астроном В. Струве намагався (правда, без особливого успіху) науковими методами знайти непорушні свідчення того, що простір не порожній і в ньому відбувається поглинання світла далеких зір.

Наявність поглинального розрідженого середовища було переконливо доведено менше ста років тому, у першій половині XX ст., шляхом порівняння спостережуваних властивостей далеких зоряних скупчень на різних відстанях від нас. Це було зроблено незалежно американським астрономом Робертом Трюмплером (1896–1956) і радянським астрономом Б. А. Воронцовим-Вельяміновим (1904–1994), вірніше, так було виявлено одну зі складових міжзоряного середовища — дрібний пил, через який міжзоряне середовище виявляється не цілком прозорим, особливо у напрямках, близьких до напрямку на Чумацький Шлях. Наявність пилу означала, що і видима яскравість, і спостережуваний колір далеких зір спотворені, тому, щоб дізнатися їх істинні значення, потрібен досить складний облік поглинання. Пил, таким чином, було сприйнято астрономами як прикра перешкода, яка заважає дослідженню далеких об'єктів. Але одночасно виник інтерес і до вивчення пилу як фізичного середовища — вчені почали з'ясовувати, як порошинки виникають і руйнуються, як реагує пил на випромінювання, яку роль відіграє пил в утворенні зір.

З розвитком радіоастрономії в другій половині XX ст. з'явилася можливість досліджувати міжзоряне середовище за його радіовипромінюванням. У результаті цілеспрямованих пошуків було виявлено випромінювання атомів нейтрального водню в міжзоряному просторі на частоті 1420 МГц (це відповідає довжині хвилі 21 см). Випромінювання на цій частоті (або, як кажуть, у радіолінії) передбачив голландський астроном Хендрік ван де Хюлст 1944 р. на підставі квантової механіки, а виявлено воно було 1951 р. після обчислення її очікуваної інтенсивності радянським астрофізиком І. С. Шкловським. Шкловський же вказав і на можливість спостереження ви-

промінювання різних молекул у радіодіапазоні, яке, дійсно, було пізніше виявлено. Маса міжзоряного газу, що складається з нейтральних атомів і дуже холодного молекулярного газу, виявилася приблизно в сто разів більшою, ніж маса розрідженого пилу. Але газ абсолютно прозорий для видимого світла, тому його не можна було виявити тими ж методами, якими було відкрито пил.

Після появи рентгенівських телескопів, встановлених на космічних обсерваторіях, було виявлено ще один, найбільш гарячий компонент міжзоряного середовища — дуже розріджений газ з температурою в мільйони і десятки мільйонів градусів. Ні за оптичними спостереженнями, ні за спостереженнями в радіохвилях цей газ «побачити» неможливо — середовище занадто розріджено і повністю іонізоване, але, тим не менш, воно заповнює істотну частинку обсягу всієї нашої Галактики.

Швидкий розвиток астрофізики, що вивчає взаємодію речовини і випромінювання в космічному просторі, як і поява нових можливостей для спостережень, дозволило детально дослідити фізичні процеси в міжзоряному середовищі. Виникли цілі наукові напрямки — космічна газодинаміка та космічна електродинаміка, які вивчають властивості розріджених космічних середовищ. Астрономи навчилися визначати відстані до газових хмар, вимірювати температуру, густину і тиск газу, його хімічний склад, оцінювати швидкості руху речовини. У другій половині ХХ ст. було виявлено складну картину просторового розподілу міжзоряного середовища та його взаємодії із зорями. Виявилося, що від густини і кількості міжзоряного газу і пилу залежить можливість зародження зір, а зорі (перш за все, найбільш масивні з них), у свою чергу, змінюють властивості навколишнього міжзоряного середовища — нагрівають його, підтримують невпинний рух газу, поповнюють середовище своєю речовиною, змінюють його хімічний склад. Вивчення такої складної системи, як «зорі — міжзоряне середовище», виявилось дуже складним астрофізичним завданням, особливо якщо врахувати, що загальна маса міжзоряного середовища в Галактиці та його хімічний склад повільно змінюються під дією різних факторів. Тому можна сказати, що в міжзоряному середовищі відображена вся історія нашої зоряної системи тривалістю в мільярди років.

Структура МЗС вкрай нетривіальна і неоднорідна: гігантські молекулярні хмари, відбивна туманність, протопланетна туманність, планетарна туманність, глобула тощо. Це обумовлює широкий спектр процесів, які відбуваються в середовищі. Далі в таблиці наведені властивості основних компонентів середовища для диска:

Фаза	Температура, К	Концентрація, см ⁻³	Маса хмар, M _☉	Розмір, пк	Частка займаного обсягу	Спосіб спостереження
Корональний газ	≈ 5 · 10 ⁵	~ 0,003	—	—	~ 0,5	Рентген, лінії поглинання металів в УФ
Яскраві області НІІ	≈ 10 ⁴	~ 30	~ 300	~ 10	~ 10 ⁻⁴	Яскрава лінія Hα
Зони НІІ низької густини	≈ 10 ⁴	~ 0,3	—	—	~ 0,1	Лінія Hα
Міжхмарне середовище	≈ 10 ⁴	~ 0,1	—	—	~ 0,4	Лінія Lyα
Теплі області НІ	≈ 10 ³	~ 1	—	—	~ 0,01	Випромінювання НІ на λ = 21 см
Мазерні конденсації	< 100	~ 10 ¹⁰	~ 105	~ 10 ⁻⁵		Мазерне випромінювання
Хмари НІ	≈ 80 0	~ 10	~ 100	~ 10	~ 0,01	Поглинання НІ на λ = 21 см
Гігантські молекулярні хмари	~ 20	~ 300	~ 3 · 10 ⁵	~ 40	~ 3 · 10 ⁻⁴	
Молекулярні хмари	≈ 10	~ 10 ³	~ 300	~ 1	~ 10 ⁻⁵	Лінії поглинання та випромінювання молекулярного водню в радіо- та інфрачервоному спектрі
Глобули	≈ 10	~ 104	~ 20	~ 0,3	~ 3 · 10 ⁻⁹	Поглинання в оптичному діапазоні

У міжзоряному середовищі відкрито величезні холодні області (молекулярні хмари) температурою 5–50 К та гарячий газ з температурою 10⁶ К — корональний газ. За температурою та густиною міжзоряні хмари ділять на чотири різних типи.

	Дифузна	Темна	Молекулярна	Глобула
Температура T , К	$10^2 - 10^3$	$10 - 10^2$	5–50	10–30
Концентрація атомів (молекул), см^{-3}	$1 - 10^2$	$10^2 - 10^4$	$400 - 10^6$	$10^3 - 10^5$

Серед молекулярних хмар виділяються величезні молекулярні хмари масами $10^5 - 10^6 M_{\odot}$. Температура таких хмар — від 5 до 30 К. У галактичному диску приблизно 6000 таких хмар, в них міститься 90 % всього молекулярного газу. Гігантські молекулярні хмари пов'язують з осередком зореутворення.

У Галактиці (особливо в пласкій складовій) міститься значна кількість міжзоряного пилу. Середній радіус пилинок складає частки мікрметра. Вважають, що пилинки — це суміш графітових та силікатних частинок, які вкриті оболонками із органічних молекул та льоду. Сумарна маса пилу всього 0,03 % всієї маси Галактики, її повна світність складає 30 % від світності зір та повністю визначає випромінювання Галактики в інфрачервоному діапазоні. Температура пилу — 15–25 К.

Основні джерела пилу в Галактиці:

Джерела пилу в Галактиці	Інтенсивність скидання пилу в Галактику за рік
Червоні гіганти	$3 \cdot 10^{-3} M_{\odot}$
Вибухи нових	$2 \cdot 10^{-3} M_{\odot}$
Вибухи наднових	$3 \cdot 10^{-3} M_{\odot}$
Протозорі	$0,2 \cdot 10^{-3} M_{\odot}$
Планетарні туманності	$0,4 \cdot 10^{-3} M_{\odot}$
Зорі типу WR	$0,01 \cdot 10^{-3} M_{\odot}$

Ще Гершель виявив на фоні Чумацького Шляху темні провали, які він називав «дірами в небі». Наприкінці XIX ст. на Лікській обсерваторії (США) астроном Едуард Барнард почав систематичне фотографування неба. До 1913 р. він знайшов близько 200 темних туманностей. На його думку, вони являли собою хмари поглинальної світлої матерії, а зовсім не проміжки між зорями, як вважав Гершель.

Це припущення підтвердилося. Коли поруч із хмарою міжзоряного газу або усередині неї немає гарячої зорі, газ залишається холодним і не світиться. Якби хмара містила тільки газ, її могли б і не

помітити. Але, крім газу, в міжзоряному середовищі в незначній кількості (близько 1 % за масою) є дрібні тверді частинки — порошини розмірами близько 1 мкм і менше, які поглинають світло далеких зір. Тому-то холодна хмара і здається темним «провалом у небі». Детальне вивчення Чумацького Шляху показало, що дуже часто такі «провали» трапляються в областях зореутворення, подібних до туманності Оріона.

1946 р. американський астроном Барт Бок виявив на фоні світлих туманностей NGC 2237 в Єдинорозі і NGC 6611 у Щиті маленькі чорні плями, які назвав глобулами. Розмір їх коливається від 0,01 до 1 пк. Вони послабляють світло зір, що лежать за ними, у десятки і сотні разів. Це значить, що речовина глобул у тисячі разів гущіша від газу, що їх оточує. Їхню масу оцінюють у межах від 0,01 до 100 мас Сонця.

Після відкриття глобул виникло переконання, що стисні хмари дозоряної матерії вже знайдені, що вони якраз і є безпосередніми попередниками зір. Але незабаром стала очевидною поспішність такого висновку.

Справа в тому, що оптичні телескопи не дають повного уявлення про міжзоряне середовище: з їх допомогою ми бачимо лише гарячі хмари, нагріті масивними зорями (як туманність Оріона), або маленькі темні глобули на світлому фоні. І ті, й інші — досить рідкісні утворення. Тільки створені в 50-ті рр. XX ст. радіотелескопи дозволили виявити за випромінюванням в лінії 21 см атомарний водень, що заповнює майже весь простір між зорями.

Це дуже розріджений газ: приблизно один атом у кубічному сантиметрі простору (за мірками земних лабораторій — найвищий вакуум!). Але оскільки розмір Галактики величезний, у ній набирається близько 8 млрд сонячних мас міжзоряного газу, або приблизно 5 % від її повної маси. Міжзоряний газ більш ніж на 67 % (по масі) складається з водню, на 28 % — з гелію, і менше 5 % припадає на всі інші елементи, найчисленніші серед яких — кисень, вуглець і азот.

Міжзоряного газу особливо багато поблизу площини Галактики. Майже весь він зосереджений у шарі завтовшки 600 світлових років і діаметром близько 30 кпк, або 100 тис. світлових років (це діаметр галактичного диска). Але й у такому тонкому шарі газ розподілений нерівномірно. Він концентрується в спіральних рукавах Галактики, де розбитий на окремі великі хмари протяжністю в парсеки і навіть у десятки парсек, а масою в сотні і тисячі мас Сонця. Густина газу в них — близько 100 атомів на кубічний сантиметр, температура — близько -200°C . Виявилося, що критичні

маса і радіус Джинса за таких умов майже збігаються з масою і радіусом власне хмар, а це значить, що вони готові до колапсу. Але головне відкриття було ще попереду.

Астрономи підозрювали, що за відносно високої густини і низької температури, що панує в міжзоряних хмарах, частина речовини повинна об'єднуватися в молекули. У цьому випадку найважливіша частина міжзоряного середовища недоступна спостереженням в оптичному діапазоні.

Розпочаті 1970 р. ультрафіолетові спостереження з ракет і супутників дозволили відкрити головну молекулу міжзоряного середовища — молекулу Гідрогену (H_2). А під час спостереження міжзоряного простору радіотелескопами сантиметрового і міліметрового діапазонів були виявлені десятки інших молекул, часом досить складних, що містять до 13 атомів. З-поміж них молекули води, аміаку, формальдегіду, етилового спирту і навіть амінокислоти гліцину.

Як з'ясувалося, близько половини міжзоряного газу міститься в молекулярних хмарах. Їх густина у сотні разів більше, ніж у хмар атомарного водню, а температура усього на декілька градусів вище від абсолютного нуля. Саме за таких умов виникають нестійкі до гравітаційного стиску окремі ущільнення в хмарі масою, порівняною із масою Сонця, і стає можливим формування зір.

Більшість молекулярних хмар зареєстровано тільки за радіовипромінюванням. Деякі, втім, давно відомі астрономам. Наприклад, темна туманність Вугільний Мішок, добре видима оком у південній частині Чумацького Шляху. Діаметр цієї хмари 12 пк, але вона видається великою, оскільки віддалено від нас усього на 150 пк. Її маса близько 5 тис. сонячних мас, тоді як у деяких хмар маса досягає мільйона сонячних, а розмір 60 пк. У таких гігантських молекулярних хмарах (їх у Галактиці усього декілька тисяч) і розташовуються головні осередки формування зірок. Найближчі до нас області зореутворення — це темні хмари в сузір'ях Тільця і Змієносця. Подалі розташований величезний комплекс хмар в Оріоні.

Протозорі

Зорі утворюються в результаті гравітаційної нестійкості в холодних і густих молекулярних хмарах. Тому зорі завжди народжуються групами (скупченнями, комплексами). Гігантські молекулярні хмари масами, більшими за $10^5 M$ (їх відомо понад 6000), містять 90 % всього молекулярного газу Галактики. Саме з ними

пов'язані області зореутворення. Якби гігантські молекулярні хмари в Галактиці вільно стискалися через гравітаційну нестійкість, то за 50 мільйонів років з них утворилися б зорі. Стисненню сприяють ударні хвилі під час розширення залишків спалахів наднових, спіральні хвилі густини і зоряний вітер від гарячих ОВ-зір. Температура речовини під час переходу від молекулярних хмар до зір зростає в мільйони разів, а густина — у 10^{20} разів. Стадія розвитку зорі, що характеризується стиском і не має ще термоядерних джерел енергії, називається протозорею (грец. протос — «перший»). Еволюцію протозорі масою $1M$ можна розділити на три стадії:

Характеристика	Фаза 1 Формування	Фаза 2 Швидкий стиск	Фаза 3 Повільний стиск
Розмір	$10^{18} - 10^{15}$ м 1000–1 а. о.	$10^{15} - 10^{10}$ м 1 а. о. — десятки $R_{\odot}$	$10^{10} - 10^9$ м 10–1 $R_{\odot}$
Густина ρ , кг/м ³	$10^{-19} - 10^{-16}$	$10^{-16} - 1$	$1 - 10^3$
Температура в центрі, К	10	$10 - 10^6$	$10^6 - 10^7$
Тривалість, роки	10^7	10^5	$5 \cdot 10^7$
Спостереження	Радіодіапазон	Інфрачервоний діапазон	Оптичний діапазон
Характеристика	Початок гравітаційної нестійкості	Швидкий стиск, вільне падіння речовини в центр хмари	Протозоря стає непрозорою для свого теплового випромінювання, температура і тиск зростають, стиск уповільнюється

Щойно температура досягла декількох мільйонів градусів, у центрі починаються термоядерні реакції. Мінімальна маса, яка необхідна для цього, складає близько однієї дванадцятої маси Сонця. Якщо речовини менше, то реакції нуклеосинтезу ніколи не почнуться. Об'єкти, маси які лежать у проміжку 0,01–0,08 M , називаються коричневими карликами. Оскільки випромінюють вони дуже слабо, виявити їх надзвичайно складно.

У 60-ті роки ХХ століття Ч. Хаяші і Т. Накано вперше докладно розглянули динаміку стиснення протозорі. Вони показали, що в про-

цесі стиснення температура фотосфери молоді зорі зростає до 3000 К, світність зорі — до 300 L . На діаграмі Герцшпрунга—Рассела обчислення для зір різної маси утворюють треки протозір Хаяші і характеризують процес утворення зір до головної послідовності.

Заключні стадії формування зорі можуть бути вельми бурхливими. Крім так званого протозоряного вітру, багато зір викидають з величезною швидкістю в простір гігантські струмені гарячої речовини — джети. Причини утворення джетів поки невідомі.

2. Характеристика зір Головної послідовності

Моделі зір різних класів

На початку стадії Головної послідовності зоря однорідна за хімічним складом — це неминучий наслідок сильного перемішування на стадії протозорі. Надалі протягом всієї стадії головної послідовності в результаті вигоряння водню в центральних областях збільшується вміст гелію. Коли водень там повністю вигоряє, зоря йде з головної послідовності в область гігантів або за великих мас — надгігантів.

У міру просування вгору по Головній послідовності радіуси і маси зір збільшуються, температура в їхніх надрах також поступово зростає. Від значення температури сильно залежить характер ядерних реакцій в надрах зорі, а також темп енерговиділення. У зір пізніх спектральних класів G, K, M, як і в Сонця, виділення ядерної енергії в основному відбувається в результаті протон-протонного циклу. У гарячих зір ранніх спектральних класів, у надрах яких температура вище, відбуваються реакції вуглецевого циклу, за яких світність значно більше, що призводить до значно швидшої еволюції. Звідси випливає, що гарячі зорі, що спостерігаються в стадії Головної послідовності, мають порівняно невеликий вік.

Оскільки виділення енергії під час вуглецевого циклу пропорційне аж 20 ступеню температури, то поблизу центра за такого величезного енерговиділення променисте перенесення не справляється із завданням відведення енергії, тому в перенесенні енергії бере участь власне речовина, активно перемішуючись, і в надрах масивних зір виникають конвективні зони. Шари зорі, що оточують конвективне ядро, перебувають у променистій рівновазі, подібно до того, як це відбувається на Сонці.

Зорі нижньої частини ГП за своєю будовою подібні до Сонця. За протон-протонної реакції потужність енерговиділення залежить

від температури слабше, ніж під час вуглецевого циклу (приблизно як T^4). У центрі зорі конвекція не виникає, і енергію переносить випромінювання. Зате через сильну непрозорість більш холодних зовнішніх шарів у зір цієї частини ГП утворюються протяжні зовнішні конвективні зони. Що холодніша зоря, то на більшій глибині відбувається перемішування. Якщо у Сонця тільки 2 % маси припадає на шари, охоплені конвекцією, то карлик спектрального класу M практично весь конвективний.

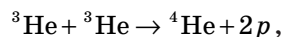
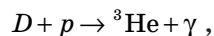
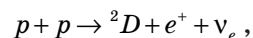
Спектральний клас	Маса ($M_{\odot} = 1$)	Радіус ($R_{\odot} = 1$)	Світність ($L_{\odot} = 1$)	Час стиснення $t_{\text{кн}}$, років	Час на Головній послідовності, років
B0	17	9,0	30 000	$1,2 \cdot 10^5$	$8 \cdot 10^6$
B5	6,3	4,2	1000	$1,1 \cdot 10^6$	$8 \cdot 10^7$
A0	3,2	2,8	100	$4,1 \cdot 10^6$	$4 \cdot 10^8$
A5	1,9	1,5	12	$2,2 \cdot 10^7$	$2 \cdot 10^9$
F0	1,5	1,25	4,8	$4,2 \cdot 10^7$	$4 \cdot 10^9$
F5	1,3	1,24	2,7	$5,6 \cdot 10^7$	$6 \cdot 10^9$
G0	1,02	1,02	1,2	$9,4 \cdot 10^7$	$1,1 \cdot 10^{10}$
G2 Сонце	1,00	1,00	1,0	$1,1 \cdot 10^8$	$1,3 \cdot 10^{10}$
G5	0,91	0,92	0,72	$1,5 \cdot 10^8$	$1,7 \cdot 10^{10}$
K0	0,74	0,74	0,35	$2,3 \cdot 10^8$	$2,8 \cdot 10^{10}$
K5	0,54	0,54	0,10	$6,0 \cdot 10^8$	$7,0 \cdot 10^{10}$

Як видно з останніх двох стовпчиків таблиці, час життя зір на Головній послідовності приблизно на два порядки більше за тривалості стадії гравітаційного стиснення. Це пояснює, чому на Головній послідовності розташовується більшість досліджуваних зір. Згідно з цією ж таблицею, еволюція масивних зір відбувається на чотири порядки швидше, ніж зір з найменшими масами. Тому більш масивні зорі швидше переходять в область гігантів і надгігантів, ніж зорі пізніх спектральних класів. Треба сказати, що зорі масами, що менші за сонячну, за весь час існування нашої Га-

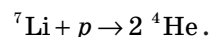
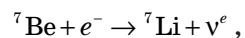
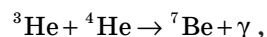
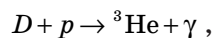
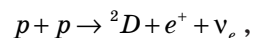
лактики ще не закінчили стадію Головної послідовності, а об'єкти найменших можливих зоряних мас навіть не досягли ще головної послідовності.

Зорі перебувають на Головній послідовності дуже довго. Горіння водню — найтриваліша стадія у житті зорі, оскільки в молодій зорі водню до 70 % від усієї маси. Під час перетворення водню в гелій виділяється велика кількість енергії. Вага вищерозміщених зоряних прошарків зрівноважується на стадії Головної послідовності тиском зоряного газу.

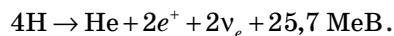
У зорях Головної послідовності відбуваються реакції так званого протон-протонного циклу.



або

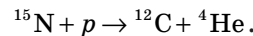
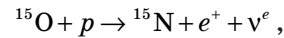
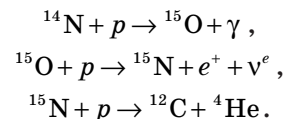
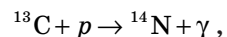
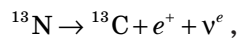
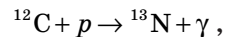


Таким чином, у результаті з чотирьох протонів утворюється ядро Гелію:



Зорі, у яких маса перевищує масу Сонця в кілька разів, реалізують інші термоядерні реакції, у яких головними учасниками є ядра Гелію. Виділення енергії під час горіння гелію приблизно на порядок менше, ніж під час горіння водню, тому час життя і число зір на цій стадії значно менше, ніж зір Головної послідовності. Але завдяки високій світності (це зорі, що перебувають на стадії червоного гіганта або надгіганта) вони добре вивчені.

Найбільш важлива реакція у цих зір — потрійний альфа-процес:



Такі реакції можливі тільки в зорях, маси та температура яких більше від маси та температури Сонця. Вуглець виступає в ролі каталізатора.

За більш високих температур, як показують теоретичні розрахунки, відбуваються реакції горіння C^{12} , O^{16} , Ne^{20} , Mg^{24} , Si^{28} . Енерговиділення в них можна порівняти з енерговиділенням в 3α -реакції, проте потужне нейтринне випромінювання через високу температуру $2 \cdot 10^9 \text{ K}$ зменшує час життя зорі на цих стадіях порівняно з часом стадії горіння гелію. Ймовірність виявлення таких зір вкрай мала, і на сьогодні немає жодного аргументованого ототожнення зорі в спокійному стані, що виділяє енергію за рахунок горіння C^{12} або більш важких елементів.

Зорі Головної послідовності є найбільш поширеними у Всесвіті. Сонце, типова зоря Головної послідовності, за останні 5 мільярдів років вже витратило половину водневого палива і зможе підтримувати своє існування протягом ще 6–7 мільярдів років, перш ніж запаси водню в його ядрі вичерпаються. Тоді Сонце перетвориться на червоний гігант.

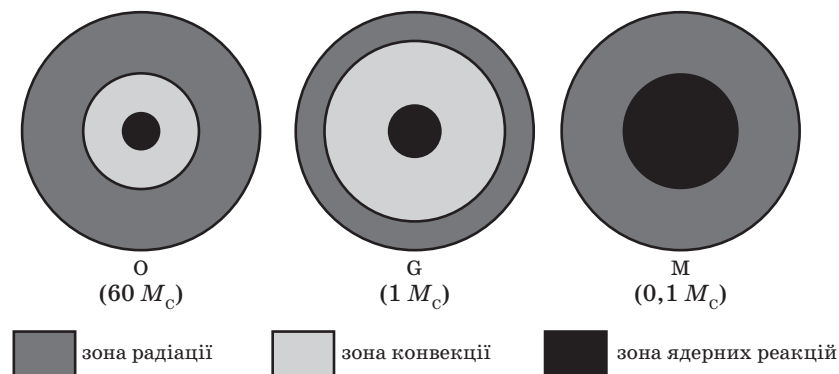


Рис. 26.1. Будова зір Головної послідовності

3. Зміни в будові зір Головної послідовності з часом

Можна визначити час життя зорі на Головній послідовності як час горіння водню в ядрі, відповідно внутрішня будова зорі не залишається постійною і змінюється за час життя на Головній по-

слідовності. Для Сонця час життя на Головній послідовності складе 10^{10} років (нагадаємо, що сучасний вік Сонця оцінюється як $4,5 \cdot 10^9$ років). Нижче наведена схема внутрішньої будови Сонця на початковій Головній послідовності і в кінці життя, коли вже майже повністю вигорів водень, а також схема внутрішньої будови більш масивної зорі в $5\text{--}10 M_{\odot}$.

На рисунку нижній (1) сектор означає однорідний водневий склад зорі. Правий вертикальний сектор (2) відповідає частці накопиченої світності, вона створюється в основному в ядрі. На фронтальному розрізі (3) показано спосіб перенесення енергії: фіолетове світіння — це енерговипромінювальне ядро, далі зона променевого переносу і біля поверхні конвективна оболонка.

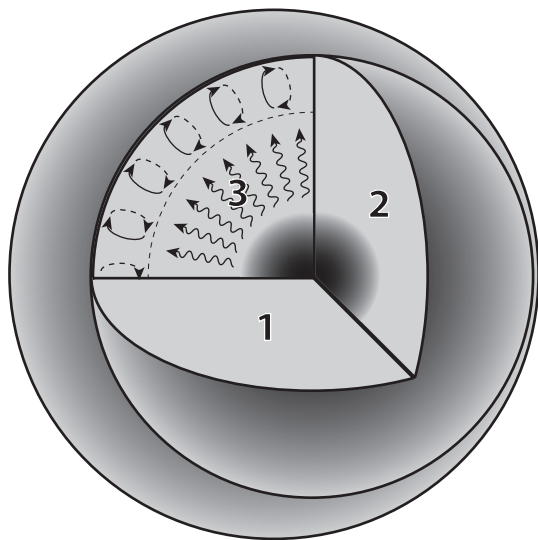


Рис. 26.2. Будова зорі сонячної маси на початку життя на Головній послідовності

На рис 26.3 на нижньому секторі темним показано гелієве ядро, що утворилося після вигорання водню, на правому вертикальному секторі — частка нагромадження світності, будова ж зорі змінилася не сильно — це ядро, промениста зона і конвективна зона.

Будова масивних зір сильно відрізняється від будови зір з $1M_{\odot}$. На відміну від перших, вони мають конвективне ядро і велику зону променевого переносу на початку життя і зберігають таку саму структуру протягом усього життя на Головній послідовності.

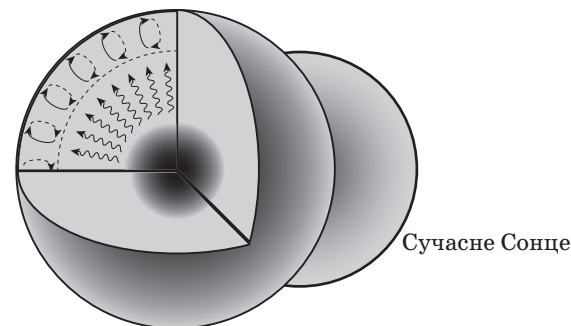


Рис. 26.3. Сонце наприкінці життя на Головній послідовності

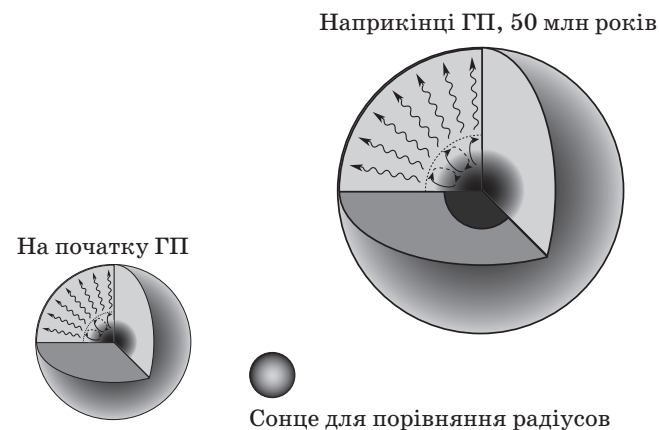


Рис. 26.4. Масивна зоря на Головній послідовності

Основні співвідношення, справедливі для зір Головної послідовності

- Радіус, R (див.)
- Радіус фотосфери зорі
- Світність, L (єрг/с)
- Повне електромагнітне випромінювання зорі за одиницю часу
- Ефективна температура, T_{eff} (К). Така температура фотосфери, яка забезпечить повну світність зорі за планківським законом чорнотільного випромінювання.

Світність зорі пропорційна її ефективній температурі і площі поверхні:

$$L = \sigma T^4 4\pi R^2,$$

де σ — стала Стефана—Больцмана.

Залежність маса—світність для Головної послідовності

Для зір Головної послідовності існує апроксимаційне співвідношення, відоме як залежність маса—світність. Це співвідношення було виведено з наглядного визначення мас і світностей зір Головної послідовності, але воно також підтверджується обчисленнями зоряних моделей для зір Головної послідовності. Світність зорі грубо пропорційна її масі в ступені 3,5 або 4:

$$L \sim M^{3,5 \dots 4}$$

Таким чином, зоря, удвічі масивніша за Сонце, має світність в 11 разів більшу, ніж Сонце. Найбільш масивні зорі Головної послідовності приблизно в 60 разів масивніші за Сонце. Це відповідає світності, що майже в мільйон разів більше від сонячної.

Для найбільш масивних зір $L \sim M$.

Час життя на головній послідовності

Зорі проводять більшу частину свого життя на Головній послідовності. Загалом, більш масивні зорі живуть більш швидким життям, ніж менш масивні. Здавалося б, зорі, що мають більшу кількість водню для горіння, повинні були б витрачати його довше, але це не так, тому що вони використовують свої ресурси швидше.

Оцінимо час життя зорі на Головній послідовності. Спрощено він дорівнює відношенню енергії, яка може бути випромінена, до виділення зорею енергії за одиницю часу (це світність L).

Енергія, яку випромінює зоря за час t , дорівнює добутку світності на цей час:

$$E = Lt.$$

Відповідно до рівняння Ейнштейна:

$$E = Mc^2.$$

Комбінуючи ці два вирази, отримуємо:

$$t = Mc^2/L,$$

враховуючи закон маса—світність, отримуємо:

$$t = c^2/M^{2,5-3},$$

або в сонячних одиницях:

$$t/t_{\text{sun}} = 1/(M/M_{\text{sun}})^{2/5-3}.$$

Таким чином, якщо розрахунковий час життя Сонця на головній послідовності становить 10^{10} років, то зоря, у 10 разів масивні-

ша за Сонце, буде жити в 1000 разів менше, тобто 10^7 років. Оскільки для найбільш масивних зір $L \sim M$, то в міру збільшення їх маси час життя перестав збільшуватися і наближається до величини $\sim 3,5$ млн років, що є дуже незначним у космічних масштабах.

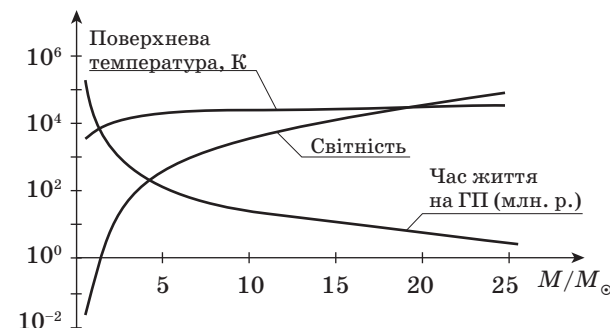


Рис. 26.5. Поверхнева температура, світність і час життя для зір Головної послідовності

Таблиця зір Головної послідовності

Спектральний клас	Зоря	Температура, (К)	Світність (L/L_{Sun})	Маса (M/M_{Sun})	Радіус (R/R_{Sun})
O9.5	β Оріона С	33 000	30 000	18,0	5,90
B0	β Південного Хреста	30 000	16 000	16,0	5,70
B2	Спіка	22 000	8300	10,5	5,10
B5	Ахернар	15 000	750	5,40	3,70
B8	Регул	12 500	130	3,50	2,70
A0	Сиріус А	9500	63	2,60	2,30
A2	Фомальгаут	9000	40	2,20	2,00
A5	Альтаір	8700	24	1,90	1,80
F5	Проціон	6400	4,0	1,35	1,20
G0	α Центавра А	5900	1,45	1,08	1,05
G2	Сонце	5800	1,000	1,00	1,00
G5	μ Кассіопеї	5600	0,70	0,95	0,91
G8	τ Кита	5300	0,44	0,85	0,87

Спектральний клас	Зоря	Температура, (К)	Світність (L/L_{Sun})	Маса (M/M_{Sun})	Радіус (R/R_{Sun})
K0	Полукс	5100	0,36	0,83	0,83
K2	ε Ерідана	4830	0,28	0,78	0,79
K5	α Центавра В	4370	0,18	0,68	0,74
M2	Лаланд 211850,	3400	0,03	0,33	0,36
M4	Росс 128	3200	0,0005	0,20	0,21
M6	Вольф 359	3000	0,0002	0,10	0,12

Запитання до учнів у ході викладу нового матеріалу

1. Які об'єкти є областями зореутворення в Галактиці?
2. Що таке протозоря?
3. Які реакції відбуваються в зорі на стадії Головної послідовності?
4. Яке основне джерело енергії зір Головної послідовності?
5. Що таке: світла туманність, темна туманність, газові та газопилові хмари?
6. Чому міжзор'яні газ та пил не розподіляються у просторі рівномірно, а концентруються в хмари?

IV. ЗАКРІПЛЕННЯ НОВОГО МАТЕРІАЛУ

1. Запишіть співвідношення між світністю зорі L та її масою, яке дозволяє оцінити час знаходження зорі на головній послідовності.
2. Яке основне джерело енергії зір Головної послідовності?
3. Що таке: світла туманність, темна туманність, газові та газопилові хмари?
4. Чому міжзор'яні газ та пил не розподілені у просторі рівномірно, а концентруються в хмари?
5. Обчисліть температуру та тиск речовини в центрі блакитного гіганта масою $20 M_{\odot}$.

Що ми дізналися на уроці

- До складу міжзор'яного середовища входять: гігантські молекулярні хмари, відбивна туманність, протопланетна туманність, планетарна туманність, глобула.

- За температурою та густиною міжзор'яне середовище ділиться на 4 складові: дифузна матерія, темна, молекулярна, глобула.
- Дифузна й темні матерії мають високу температуру, молекулярна та глобули мають низькі температури.
- Близько половини міжзор'яного газу утримується в молекулярних хмарах (з високою густиною та низкою температурою), що обумовлює гравітаційний стиск та призводить до формування зір.
- Протозоря — стадія розвитку зорі, яка характеризується стиском та відсутністю термоядерних джерел енергії.
- Головна послідовність — активна стадія життя зорі; залежно від початкової маси зорі (порівняно з масою Сонця) залежить час життя зорі, її внутрішня будова та кінцева стадія еволюції.

V. ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ

Читати § 21 (п.5), 24 (п.1).

Урок 27/IV–7

Тема. Кінцеві стадії еволюції зір, білі карлики, нейтронні зорі, пульсари. Кінцева стадія еволюції Сонця. Чорні діри. Сфера Шварцшильда. Пошуки чорних дір

Цілі:

- **навчальна:** продовжити формування фундаментального астрономічного поняття «зоря»: розглянути космічні процеси існування та еволюції зір і зоряних систем; поглибити знання про внутрішню будову зір різних класів; термодинамічну рівновагу в надрах зір; сформувати в учнів поняття про зміни основних фізичних характеристик зір в ході їх еволюції та причини цих змін; про зміну основних циклів термоядерних реакцій в надрах зір; їх основні параметри; розглянути основні шляхи еволюції зір залежно від їх маси та космічне явище зміни світності зір на пізніх етапах еволюції;
- **розвивальна:** з метою формування наукового світогляду учнів продовжити ознайомлення учнів з методами й способами в пізнанні природи зір; продовжити розкриття ролі моделей під час вивчення реальної дійсності; формування вміння — аналізувати інформацію, складати класифікаційні схеми, пояснювати властивості космічних об'єктів на основі найважливіших фізичних теорій.
- **виховна:** продовжити формування наукового світогляду учнів: — у ході ознайомлення з еволюцією зір і зоряних систем; на основі розкриття фундаментальних природних закономірностей (причинового взаємозв'язку і взаємозумовленості явищ і процесів, переходу кількісних змін у якісні, єдності і взаємодії протилежностей) і філософських положень про матеріальну єдність і пізнаваність світу під час вивчення матеріалу про космічні процеси та еволюцію зір і зоряних систем.
- **Учні повинні знати:** основні стадії еволюції зір; фізичні процеси, які відбуваються у надрах зір на різних стадіях їх еволюції; поняття білий карлик, пульсар, червоний гігант, чорна діра, сфера Шварцшильда.
- **Учні повинні вміти:** аналізувати навчальний матеріал, використовувати узагальнений план для вивчення космічних явищ, робити висновки, пояснювати механізм виникнення чорної діри та описувати фізичні процеси, що протікають поблизу чорної діри, зоряну еволюцію.
- **Міжпредметні зв'язки:** природознавство, хімія, математика, фізика.

Демонстрації:

- 1) Космічні знімки глобул та регіонів зореутворення.
- 2) Схеми еволюційних шляхів зір на діаграмі Герцшпрунга—Рессела.
- 3) Нейтронні зорі та чорні діри у подвійних зоряних системах.

Технічні засоби навчання, наочне приладдя: мультимедійний проектор, комп'ютер, CD-презентація «Еволюція зір»; атлас з астрономії.

Обладнання: комп'ютер, мультимедійний проектор, екран; презентація «Еволюція зір»; атлас з астрономії; робочий зошит з астрономії.

План заняття

Час	Метод навчання	Зміст роботи	Наочне приладдя, ТЗН
0,5 хв	Бесіда	Організаційний момент Перевірка готовності учнів до уроку. Стимулювання діяльності учнів, забезпечення їхньої загальної готовності, своєчасного й організованого початку уроку	

Час	Метод навчання	Зміст роботи	Наочне приладдя, ТЗН
5 хв	Бесіда	Актуалізація знань учнів Узагальнення матеріалу з теми «Характеристики зір головної послідовності, гігантів та надгігантів»	
25 хв	Лекція	Пояснення нового матеріалу 1) Прикінцеві стадії еволюції зірі. 2) Нові зорі, білі карлики й планетарні туманності. 3) Наднові, нейтронні зорі й волокнисті туманності. 4) Чорні діри. 5) Еволюційні сенс-діаграми Герцшпрунга—Рессела. Еволюційні треки зір. 6) Еволюція Сонячної системи	Роздавальний матеріал, презентація
10 хв	Самостійна робота учнів	Закріплення нового матеріалу Розв'язування задач	
1 хв		Пояснення домашнього завдання	
		Домашнє завдання Читати § 23 (п. 2–4), 24 (п. 2, 3)	

ХІД УРОКУ

I. ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ МОМЕНТ

II. АКТУАЛІЗАЦІЯ ЗНАНЬ УЧНІВ

- Які групи утворюють зорі на діаграмі Герцшпрунга—Рессела?
- Назвіть основні відмінності між зорями, які належать різним групам зір діаграми Герцшпрунга—Рессела.
- Що таке протозоря? Яким чином вона утворюється?
- Які процеси протікають у надрах зір головної послідовності?
- Що таке зоряний колапс?
- Яким чином може змінюватися світність зір?
- Яке співвідношення існує між світністю зірі та її масою, за допомогою якого можна оцінити час знаходження зірі на головній послідовності?
- Як змінюється маса, світність, температура поверхні, розмір зір?
- Як ви вважаєте, можна відобразити життєвий шлях зірі на діаграмі Герцшпрунга—Рессела?

III. ПОЯСНЕННЯ НОВОГО МАТЕРІАЛУ

1. Прикінцеві стадії еволюції зірі

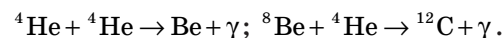
Перетворення водню на гелій у ядрі зірі призводить до збільшення маси центральної частини зірі, поблизу неї збільшується

сила ваги і сила газового тиску, що її врівноважує. Газ, згущаючись, стає дедалі більш «непрозорим» для випромінювання, що несе енергію. Ядро збільшується в масі, але стає меншим за розмірами й дедалі слабше притягує речовину зовнішніх, віддалених від неї шарів зорі. Зоря «розпухає», розширюється в навколишній простір. Упродовж поступового стиску ядра під дією гравітації половина енергії, що виділяється, іде на збільшення кінетичної енергії й температури речовини ядра зорі, а друга половина — на випромінювання. Температура й тиск у центрі зорі збільшуються. Зростає кількість енергії, що виділяється в зоні термоядерних реакцій, однак розміри зорі зростають швидше і на одиницю площі поверхні зорі припадає дедалі менше енергії. Для зовнішнього спостерігача зоря починає «остигати», при цьому у неї одночасно збільшується світність, переміщується по діаграмі Герцшпрунга—Рессела вправо й нагору й перетворюється, залежно від маси, у червоного гіганта або надгіганта.

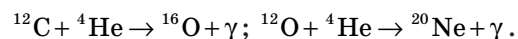
Ці процеси можуть спричинити пульсації зорі: багато червоних гігантів і надгігантів є неправильними (неперіодичними) або напівперіодичними змінними зорями.

Змінні зорі — міриди — червоні надгіганти, що змінюють свій блиск протягом сотень днів з амплітудою до 10^8 раз. Так, зоря Миру, о Кита мінняє свій блиск від $3,4^m$ до $9,3^m$ за 332^d ; зоря χ Лебеда змінює свій блиск від $2,3^m$ до $14,3^m$ (в 60 000 разів!) за 407^d .

Коли вміст водню в ядрі зменшиться до 1 %, термоядерні реакції призупиняться, рівновага між силами гравітації й променевого тиску порушується. Ядро зорі різко стискується до величини, за якої енерговиділення через стиск не стане перевищувати втрати енергії на теплопровідність і випромінювання нейтрино. Температура й тиск поблизу центра зорі зростають настільки, що в ньому почнуть відбуватися термоядерні реакції перетворення гелію у вуглець:



У міру «згоряння» гелію ядро продовжує стискуватися, температура й тиск у ядрі збільшуються, і через деякий час поблизу центра зорі почнуться термоядерні реакції перетворення вуглецю в кисень, кисню — у неон і т. ін.:



Основні етапи ядерної еволюції зір

Ядерне «топливо»	Продукти «горіння»	Температура, К	Тривалість (% від життя зорі)
H	He	$1 \cdot 10^7 - 3 \cdot 10^7$	90 %
He	C, O	$2 \cdot 10^8$	10 %
C	Ne, Na, Mg	10^9	1 %
Ne	O, Mg	$1, 3 \cdot 10^9$	до 1 % ($\approx 10^4$ років)
O	от Si до Ca	$1, 8 \cdot 10^9$	< 1 % ($10^2 - 10^3$ років)
Si	от Se до Ni	$3, 4 \cdot 10^9$	$\ll$ 1 % (10 років)

У ході цих послідовних термоядерних реакцій утворюються важкі хімічні елементи; у надрах зір із масою $M > 8M_{\odot}$ — аж до ядра елементів групи заліза, що мають найбільшу енергію зв'язку. Швидкість протікання реакцій дедалі прискорюється: гелієве ядро перетворюється на вуглецеве за мільйони років; зоря із «залізним» ядром існує кілька десятків років. Будова такої зорі нагадує цибулину: у центрі — ядро з елементів групи заліза діаметром у десятки кілометрів і масою $1,25-2,05 M_{\odot}$, а довкола нього — концентричні оболонки з дедалі легших хімічних елементів аж до гелію й водню. Висока швидкість обертання масивних зір здатна змішувати речовину зовнішніх і глибинних шарів і впливати на хід термоядерних реакцій. Конвективні процеси ще сильніше перемішують речовину й виносять «новонароджені» атоми важких елементів (аж до Na, Al, Si) із зоряних глибин у зовнішню оболонку. В атмосферах надгігантів народжуються дрібні тугоплавкі порошини (графіту (C), силіцій карбід (Si) і т. ін.) розмірами $0,05-0,25$ мкм. Густі пилові оболонки поглинають видиме випромінювання зір, зменшують їхній блиск і змінюють спектр.

У разі кожного стрибкоподібного стиску зоряного ядра довкола нього поширюються дедалі потужніші ударні хвилі, що намагаються відкинути в навколишній простір речовину зовнішніх оболонок зорі.

Такі зорі спостерігаються із Землі як спалахувальні (еруптивні) змінні зорі — нові й наднові.

На пізній стадії еволюції багато масивних гігантів і надгігантів втрачають свої зовнішні водневі оболонки. Їхні атмосфери інтенсивно «випаровуються» потужними потоками зоряного вітру.

Розміри окремих хмар, що забирають зі швидкістю до 400 км/с до 10^{24} – 10^{28} кг речовини на рік, становлять від $0,1R_{\odot}$ до $4,1R_{\odot}$. Втрати речовини, яку відносить зоряний вітер, настільки великі, що за кілька десятків тисяч років від зір із початковою масою 35–38 $M_{\odot}$ можуть залишитися «недогарки» масою 12–15 $M_{\odot}$ й навіть ще менше, до 4 $M_{\odot}$!

Їхні оголені гелієві ядра спостерігаються як зорі типу Вольфа—Райє. Середня маса зір Вольфа—Райє 17,8–18,5 $M_{\odot}$ (від 1–2 $M_{\odot}$ до 20–44 $M_{\odot}$) за маси вуглецево-кисневого ядра 7,4–10,3 $M_{\odot}$. Понад 40 % зір Вольфа—Райє є компонентами тісних подвійних систем, що активно обмінюються речовиною зі своїми компонентами. Це змінює подальший хід і кінцевий результат зоряної еволюції, відтягує термін «смерті» зорі.

Матеріал про подвійні зоряні системи було викладено на попередньому уроці. Потрібно хоча б коротко ознайомити учнів з методами їх вивчення і звернути увагу на те, що кількісне збільшення взаємодіючих елементів системи — зір, від однієї до двох або трьох, веде до якісної зміни характеристик і властивостей системи: ускладнення характеру еволюції кожного компонента й усієї зоряної системи загалом.

Смерть зорі набуває різних форм залежно від її маси, маси її ядра, характеристик обертання, магнітного поля тощо.

Червоні карлики масою до 0,8 $M_{\odot}$ живуть довго, до 100 млрд років. У міру зменшення концентрації водню в ядрі термоядерні реакції повільно угасають, зоря поступово зменшує свою температуру, перетворюється на чорний карлик, у якому сила тяжіння врівноважується тиском іонізованого газу, що охолоджується.

Хід еволюції простий.

Червоний карлик головної послідовності

⇒ Чорний карлик

2. Нові зорі, білі карлики й планетарні туманності

Еволюція зорі з початковою масою 3–8 $M_{\odot}$ за маси ядра 1,5 $M_{\odot}$ протікає:

Зоря головної послідовності

⇒ Червоний гігант

⇒ Спалах нової

⇒ Білий карлик

⇒ Планетарна туманність

⇒ Чорний карлик

У разі чергового різкого стиску ядра зорі ударна хвиля вибухоподібно відкидає в навколишній космічний простір зовнішні шари зорі, які слабко притягуються до її центра. Чим менше маса зорі, тим раніше станеться ця подія: зорі, маси ядра яких $M \ll M_{\odot}$, скидають оболонку на стадії переходу до «горіння» гелію, а зорі, у яких маси $M \ll 1,5M_{\odot}$, можуть «дожити» до утворення ядра з кисню й неону.

Явище називається спалахом нової зорі: на кілька днів світність зорі, що гине, збільшується до 400 тис. разів і залишається такою протягом кількох тижнів або місяців. Оскільки до спалаху зорю часто не спостерігали неозброєним оком, давні астрономи це явище сприймали як появу на небесній сфері нового яскравого світила. Але насправді це було не народження, а смерть зорі.

Відкинуті вибухом газові оболонки розширюються зі швидкістю до 1000 км/с й утворюють планетарну туманність, що дуже повільно розсіюється в космічному просторі. Вона має розміри 0,1–1 пк, світиться за рахунок енергії, запасеної під час спалаху нової й перевипромінювання світла близько розташованих зір, і, звісно ж, містить у своєму складі багато гелію, кисню й азоту.

У випадку інтенсивної втрати речовини зорею її смерть може бути «тихою», без спалаху нової: відносно плавне, поступове розширення зовнішньої оболонки червоного гіганта зі швидкістю близько 20 км/с завершується утворенням планетарної туманності.

У центрі колишньої зорі спостерігають білого карлика — колишнє ядро зорі, що стислося до менш ніж 10^4 км ($R < 0,007M_{\odot}$). Граничну масу білих карликів (межа Чандрасекара), що залежить від їх хімічного складу, визначають за формулою:

$$M_{\text{ch}} = 5,83m_e^{-2}M_{\odot},$$

де m_e — молекулярна маса, що припадає на 1 електрон. Для масивних білих карликів $M_{\text{ch}} \ll 1,4M_{\odot}$. Сила ваги врівноважується тиском виродженого (густиною іонізованого) газу. Густина зовнішніх шарів (10^3) із глибиною збільшується до 10^6 г/см³, тобто у тисячі разів є більшою, ніж у металів. Із глибиною також збільшується температура: від 10^4 К на поверхні до 10^7 К на глибині $0,98R_{\odot}$, але все-таки вона занадто низька для протікання термоядерних реакцій. Вільні електрони переміщуються між «вузлами кристалічної решітки» — тісно розміщеними ядрами атомів від гелію до заліза. Випромінювання білих карликів відбувається за рахунок «запасе-

ної» енергії, причому випромінюють не електрони, а атомні ядра (під час переходу з одного енергетичного рівня на інший). Час існування (остигання) білих карликів — перетворення їх на холодні чорні карлики — становить сотні трильйонів років.

Кількість білих карликів різного віку в Галактиці досягає 10^{10} , а їхня сумарна маса разом з масою остиглих чорних карликів, за оцінками низки вчених, може досягати 10^{11} кг!

3. Наднові, нейтронні зорі й волокнисті туманності

Еволюція зір масою $10\text{--}15 M_{\odot}$ (з масою ядра до $1,5\text{--}2,5 M_{\odot}$) відбувається інакше:

Зоря головної послідовності

⇒ Червоний надгігант

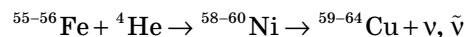
⇒ Спалах наднової

⇒ Нейтронна зоря

⇒ Волокниста туманність

⇒ Чорний карлик

На початковій стадії «вигорання» заліза:



за температури 10^{10} К центральна частина зорі випромінює в простір величезну кількість елементарних частинок нейтрино й антинейтрино ($\nu, \bar{\nu}$), які несуть із собою значну частку термоядерної енергії, що виділяється: $E_{\text{св}} = 0,15 M_{\odot} \cdot c^2$!

Рівновага між силами тяжіння й променевого тиску, що різко знижується, необоротно порушується.

Масивна зоря «спадає» усередину себе впродовж близько 0,01 с. При цьому густина речовини ядра збільшується від 10^7 до 10^{14} г/см³, а температура — до $2\text{--}10^{11}$ К! В оболонці, що оточує ядро, виникає вибухова реакція «вигорання» кисню й вуглецю. За частки секунди під дією неймовірно високих температур і тиску відбуваються послідовні термоядерні реакції утворення важких і надважких хімічних елементів із атомною масою $A \sim 270$: Урану, Торію й інших. Надпотужна вибухова хвиля зриває й несе зоряну оболонку, розсіюючи в просторі «новонароджені» хімічні елементи.

Із Землі смерть зорі виглядає як спалах наднової зорі. Під час спалаху наднової виділяється енергія до 10^{43} Дж! Світність зорі, що гине, зростає в сотні мільйонів разів, і протягом декількох тижнів і навіть місяців зоря випромінює світла більше, ніж ціла галактика!

За спостережуваними характеристиками наднові поділяються на 2 групи:

- 1) наднові I типу виникають внаслідок колапсу зір з масою ядра близько $2M_{\odot}$, збагачені гелієм, вуглецем і киснем (зорі типу Вольфа—Райє, білі карлики, що зіштовхуються, в тісних подвійних системах та інші) і виділяють під час вибуху енергії до $4\text{--}10^{42}$ Дж. У їхніх спектрах немає ліній водню, а крива блиску й світність у максимумі майже однакові. Протягом 15 діб їхній блиск плавно збільшується на 17^m , потім кілька діб вони перебувають у максимумі блиску (при цьому вони виділяють енергії близько $4,5\text{--}10^{36}$ й їхня світність досягає $1,2 \cdot 10^{10}$ Дж/с; далі протягом 300–350 діб їхній блиск спочатку швидко, а потім дедалі повільніше знижується;
- 2) наднові II типу виникають після колапсу масивних молодих зір і виділяють під час вибуху енергії до 10^{42} Дж. Їхні спектри багаті водневими лініями, а криві блиску дуже різноманітні. Їхній блиск збільшується протягом 20 діб; у максимумі блиску вони виділяють енергії близько $7,5 \cdot 10^{35}$ Дж/с; блиск знижується протягом 150 діб.

Спалах наднової починається з викидання речовини двома вузькими струменями (джетами) уздовж осі обертання стискального ядра зорі. Серія ударних хвиль поширює джета у всій оболонці, спричиняючи сферично-симетричне розлітання речовини. Оболонка зорі розширюється в просторі зі швидкістю 5000–10 000 км/с, створюючи ударну хвилю й волокнисту газову туманність масою $3 \cdot 10^{29}\text{--}6 \cdot 10^{30}$ кг, розмірами 20–40 пк, що має симетричну форму й випромінює за рахунок енергії, запасеної оболонкою наднової під час вибуху (волокниста туманність Бумеранг в 5000 св. років від Землі, що розширюється зі швидкістю 165 км/с, вважається «найбільш холодним» об'єктом Метагалактики, що має температуру, нижчу від температури реліктового випромінювання 2,7 К). У складі речовини волокнистих туманностей міститься багато важких і надважких хімічних елементів, що утворилися під час вибуху зорі. Частота спалахів наднових у Галактиці — 1 раз на 100–300 років.

У центрі волокнистої туманності ядро стискної колишньої зорі масою до $1\text{--}2 M_{\odot}$ утворює нейтронну зорю, у якій тиск нейтронної речовини врівноважує сили гравітації. Під час стиску зорі швидкість її обертання збільшується обернено пропорційно квадрату радіуса; аналогічно посилюється магнітне поле, що стає в $10^{11}\text{--}10^{13}$ раз потужнішим за сонячне. Вибух прискорює швидкість руху

юної нейтронної зорі до $10^2 - 10^3$ км/с, і вона залишає місце свого народження.

Нейтронні зорі — «суперзорі»: надмалі за розмірами (8–15 км) і надгусті ($10^{14} - 10^{15}$ г/см³) об'єкти із середньою масою $1,35M_{\odot}$, що складаються зі надвиродженої надпровідної речовини, є надшвидкообертливими ($10 - 10^5$ об/с), мають надпотужні магнітні поля ($10^{12} - 10^{13}$ Гс) і є надприскорювачами частинок надвисоких енергій.

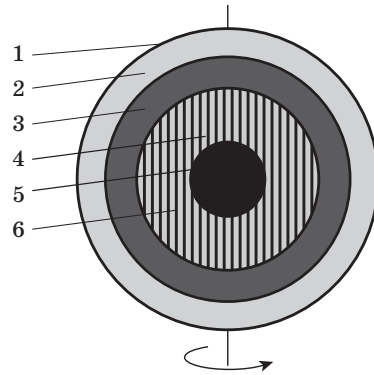


Рис. 27.1. Будова нейтронної зорі: 1 — оболонка; 2 — зовнішня кора (e^- , Fe); 3 — внутрішня кора (e^- , Fe, n^0); 4 — зовнішнє ядро (e^- , n^0 , p^+); 5 — внутрішнє ядро (гіперони, піони, кварки); 6 — магнітні трубки

Під оболонкою — поверхневим шаром плазми завтовшки до 10 м, густиною 10^6 г/см³ і температурою 10^6 К — схована тверда (!) зовнішня кора завтовшки до 100 м, що складається з повністю виродженої речовини густиною $10^8 - 10^{11}$ г/см³, температурою 10^7 К; ядра атомів Феруму й інших важких елементів утворюють кристалічну решітку, занурену в електронний газ. Глибше розміщується частково «нейтронізована» внутрішня кора завтовшки до 1 км: за густини речовини понад $6 \cdot 10^{11}$ г/см³, тиску 10^{32} Па й температури понад 10^8 К атомні ядра стають нестійкими, розпадаються на протони й нейтрони; протони взаємодіють із електронами й перетворюються на нейтрони: $p^+ + e^- \rightarrow n^0$. Речовина зовнішнього ядра до рівня густиною $5 \cdot 10^{13}$ г/см³ являє собою суміш важких ядер і нейтронів — нейтронну надтекучу «рідину» за температури 10^9 К. У внутрішньому ядрі за густини понад 10^{15} внаслідок сильної взаємодії в центральних областях нейтронної зорі утворюються

надважкі елементарні частинки (гіперони й μ -мезони); речовина ядра може являти собою суміш π -мезонів («піонний концентрат»), «модифіковану матерію» із сигма- і лямбда-гіперонів і мюонів або навіть «матерію з вільних кварків» («дивна» речовина). Структура ядра й частково внутрішньої кори являє собою безліч паралельних до осі обертання зорі надтонких вихрових ниток і магнітних трубок завтовшки $10^{-13} - 10^{-14}$ м загальним числом понад 10^{31} .

Пульсар — обертова нейтронна зоря, магнітна вісь якої не збігається з віссю обертання. На сьогодні відомо понад 1000 пульсарів — молодих нейтронних зір — джерел імпульсного рентгенівського або радіовипромінювання з періодом 0,033–4,8 с. Середня маса відомих нейтронних зір становить $1,2 - 1,4 M_{\odot}$.

Молоді нейтронні зорі — магнетари — мають надпотужне магнітне поле напруженістю до 10^{15} Гс: HD 37776 у сузір'ї Оріона має магнітне поле напруженістю 60 000 Гс; SGR 1900+14 у сузір'ї Орла на відстані 20 000 св. років від Сонячної системи має магнітне поле, що у 800 трильйонів разів потужніше від земного. Найпотужніше магнітне поле (у квінтільйон разів потужніше від земного!) у магнетара SGR 1806–20 в 40 000 св. років від Землі. Надпотужні магнітні поля обумовлюють рентгенівську світність магнетарів, що називаються аномальними рентгенівськими (АХР) пульсарами. Під час розламів зовнішньої кори магнетарів відбуваються потужні спалахи м'якого γ -випромінювання: ці пульсари називають гамма-джерелами (SGR).

Переважаюча кількість нейтронних зір (ті, що мали до спалаху над нової слабкі магнітні поля) стають радіопульсарами ($T \sim 0,1 - 3$ с), максимум енергії їхнього випромінювання припадає на радіодіапазон. Перші 10^4 років свого існування юна нейтронна зоря є спалахувальним γ -джерелом, наступні 10^4 років — рентгенівським пульсаром, потім активність нейтронної зорі поступово знижується до цілковитого припинення. У ході подальшої еволюції відбувається поступове «загасання» магнітних полів й уповільнення обертання нейтронних зір. Через 10 млн років нейтронна зоря перестає бути пульсаром.

Існування нейтронних зір було передбачено Л. Д. Ландау, В. Баде й Ф. Цвіккі в 1932–1934 рр., відкриті ж вони були А. Хьюїшем і Дж. Беллом 1967 року. Спостерігаються як радіо- і рентгенівські пульсари, спалахувальні рентгенівські й, можливо, γ -джерела.

Загальна кількість нейтронних зір у Галактиці може досягати декількох мільярдів.

4. Чорні діри

Зорі з масами 20–40 $M_{\odot}$ (з масою ядра більше $3M_{\odot}$) мають інший варіант еволюції:

Зоря надгігант класів О, В

⇒ Зоря типу Вольфа—Райє

⇒ Спалах наднової

⇒ Чорна діра + волокниста туманність

На стадії вибуху наднової зорі стиск її ядра не зупиняється: відбувається «гравітаційний колапс» з утворенням нового типу космічних об'єктів — чорної діри (колапсара).

Чорні діри — гравітаційно зв'язані, непрозорі для випромінювання, просторово відокремлені в межах гравітаційного радіуса:

$$R_g = \frac{2GM}{c^2}.$$

Чорні діри «зоряного походження» мають середню масу близько 10^{31} кг (до 8–10 $M_{\odot}$). Зовнішні властивості чорних дір описують у межах загальної теорії відносності, релятивістської й квантової фізики. Внутрішні властивості чорних дір — матерії, близької до сингулярності, стиснутої до густини понад 10^{94} г/см³ за «планківських» розмірів менше 10^{-35} м, — сучасні фізичні теорії описати не можуть. Об'єкт, що «пішов під гравітаційний радіус», перестають спостерігати, оскільки для нього друга космічна швидкість u' вища від швидкості світла c . Межа області, що не може покинути електромагнітне випромінювання (за $u' = c$), називається «горизонтом подій» чорної діри; простір усередині нього називається «сферою Шварцшильда». Виявити чорну діру можна лише за дією її гравітаційного поля, що викривляє шлях світлових променів (ефект «гравітаційної лінзи»), які проходять поряд із нею, і за рентгенівським випромінюванням речовини, що падає в чорну діру з навколишнього простору (внутрішні області акреційного диска розжарюються до 10^9 К). За допомогою детекторів гравітаційних хвиль можна буде спостерігати рідкісні космічні явища — злиття чорних дір і нейтронних зір у тісних подвійних системах (1 раз за мільйон років на 1 галактику), злиття «зоряних» чорних дір (1 раз за 5 мільйонів років на 1 галактику) і навіть злиття надмасивних чорних дір (1 раз за рік на весь Всесвіт!).

Дж. Мітчеллом (1783 р.) і П.-С. Лапласом (1796 р.) на основі теорії Всесвітнього тяжіння й корпускулярної теорії світла було пе-

редбачено існування чорних дір. З погляду загальної теорії відносності чорні діри були вперше описані 1939 р. Р. Оппенгеймером; їх досліджували Дж. Уїлер, С. Хокінг, В. П. Шварцман, І. Д. Новиков, В. П. Фролов й інші вчені.

Перші дослідники чорних дір вважали, що вони не мають індивідуальних характеристик. У цей час встановлено, що чорні діри можуть бути настільки ж різноманітні за властивостями, як і зорі.

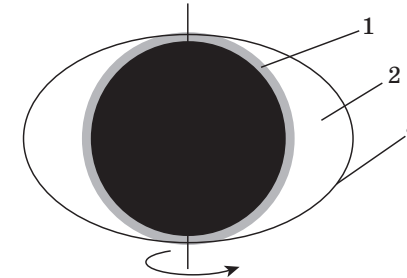


Рис. 27.2 Будова чорної діри: 1 — горизонт подій; 2 — ергосфера; 3 — межа

Поблизу чорної діри змінюються геометричні властивості простору й часу. Усередині чорної діри просторова й часова координати є взаємооборотними: переміщення в просторі стає рухом у часі. З погляду загальної теорії відносності для зовнішнього спостерігача об'єкт, що падає в чорну діру, ніколи не перетне горизонт подій, безупинно сповільнюючись під час зближення з ним, але для власне об'єкта час падіння є кінцевим (для чорної діри з масою $1M_{\odot}$ час падіння $t \ll 10^2 R_g/c$). Положення горизонту подій не завжди відповідає положенню гравітаційного радіуса й у кожен момент часу залежить від усієї подальшої (!) еволюції системи.

Час існування чорної діри залежить від її маси: стійкими є лише колапсари масою $M > 10^{31}$ кг, інші ж поступово «випаровуються» за рахунок квантових ефектів, руйнуються тим швидше, чим менше їхня маса. Чорна діра «народжує» й випромінює частинки (за $M < 10^{11}$ — фотони, нейтрино, гравітони; за $5 \cdot 10^{11} < M < 10^{14}$ — додатково, електрони й позитрони; за $M > 10^{14}$ кг — більш важкі частинки). Елементарні частинки, що випускає чорна діра, називаються випромінюванням Хокінга.

Загальне число чорних дір у нашій Галактиці залежить від кількості нейтронних зір і, ймовірно, перевищує 10 000. Відкрито кілька чорних дір «надзоряною» масою понад $100M_{\odot}$, що утворю-

ються, як вважають, під час злиття десятків і сотень дрібних чорних дір поблизу центрів галактик (маса чорної діри поблизу центра M82 приблизно становить від 500 до 100000 $M_{\odot}$), і надмасивні чорні діри в центрах галактик масою $10^7 - 10^8 M_{\odot}$. Чорні діри є потужними джерелами поляризованих гравітаційних хвиль.

Згідно з деякими сучасними даними, колапс окремих зір може бути «тихим» і відносно повільним, без спалаху наднової.

Перетворення ядер зір-надгігантів у чорні діри може відбуватися протягом двох етапів: спочатку утворюється масивна, надшвидкіснообертова нейтронна зоря, колапсу якої перешкоджає відцентрова сила. За кілька десятків років надпотужне магнітне поле знижує швидкість обертання й нейтронна зоря, випустивши потужний імпульс γ -променів, перетворюється на чорну діру.

Зорі масами понад $90M_{\odot}$ внаслідок надпотужного вибуху під час спалаху гіпернової повністю розпорошуються в навколишньому просторі. Енергія вибуху гіпернових у десятки й сотні тисяч разів перевищує енергії спалахів наднових і досягає $10^{45} - 10^{47}$ Дж.

5. Еволюційний сенс діаграми Герцшпрунга—Рессела

Еволюційні треки зір

Еволюція зір відображена на діаграмах Герцшпрунга—Рессела «спектр — світність» й «температура — світність». Життєвий шлях зорі, послідовні етапи її розвитку лежать уздовж діаграми вигадливою кривою лінією — треку еволюції зорі (рис. 27.3 — 27.4).

Життєвий шлях зорі масою $M = 1M_{\odot}$:

- 1 — гравітаційний стиск протозоряної хмари;
- 2 — протозоря;
- 3 — стабільне положення зорі на Головні послідовності, енергетика заснована на термоядерних реакціях перетворення водню в гелій;
- 4 — утворення гелієвого ядра й перетворення зорі у червоного гіганта й далі надгіганта;
- 5 — червоний надгігант;
- 6 — пульсуюча змінна зоря, у надрах якої утворюється вуглецеве ядро;
- 7 — спалах нової, утворення планетарної туманності;
- 8 — білий карлик;
- 9 — остиглий чорний карлик.

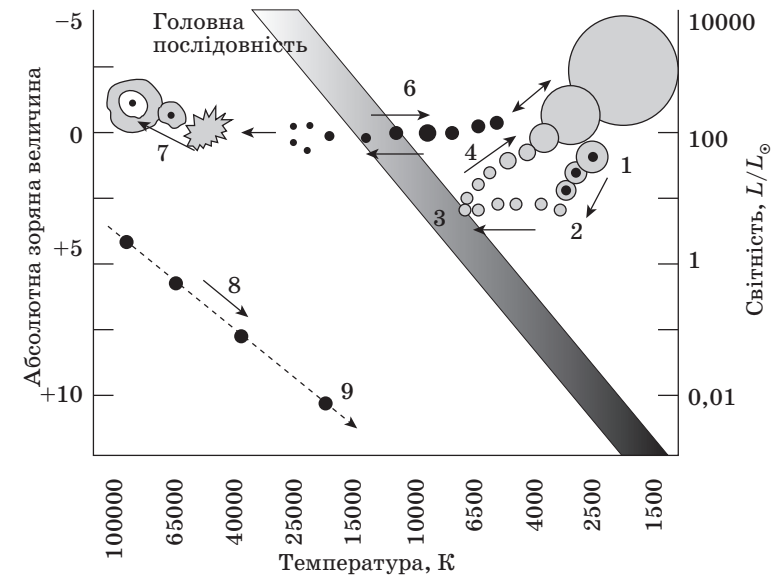


Рис. 27.3 Діаграма Герцшпрунга-Рессела

Усі основні фізичні характеристики зорі поступово змінюються упродовж її «життя». Одні — світність, спектр, розміри й густина — змінюються досить різко й сильно, інші (маса) — відносно слабо. Зорі зрушуються («виходять») на Головну послідовність із правої частини діаграми — області протозір, коли усередині них починаються термоядерні реакції. На головній послідовності, що містить у собі переважне число зір, оскільки вона відбиває найбільш тривалий етап життя нормальних зір, у їхніх ядрах протікають термоядерні реакції «водневого» горіння. Потім зоря переміщається вправо й нагору, в область червоних гігантів.

Термоядерні реакції вуглецево-кисневого й наступного циклів, що послідовно спалахують, можуть ненадовго, на дедалі коротші проміжки часу, ривками відсувати її вліво, уздовж осі абсцис, але повернення в область холодніших червоних надгігантів неминуче. Для маломасивних зір усе закінчується спалахом нової й падінням у нижню область діаграми — у послідовність білих карликів і подальшим стомільярднорічним остиганням зліва направо уздовж діаграми до стану чорного карлика. У більш масивних зір їхні ядра, що стиснулися після спалаху наднової у нейтронні зорі й чорні діри, залишають діаграму зовсім.

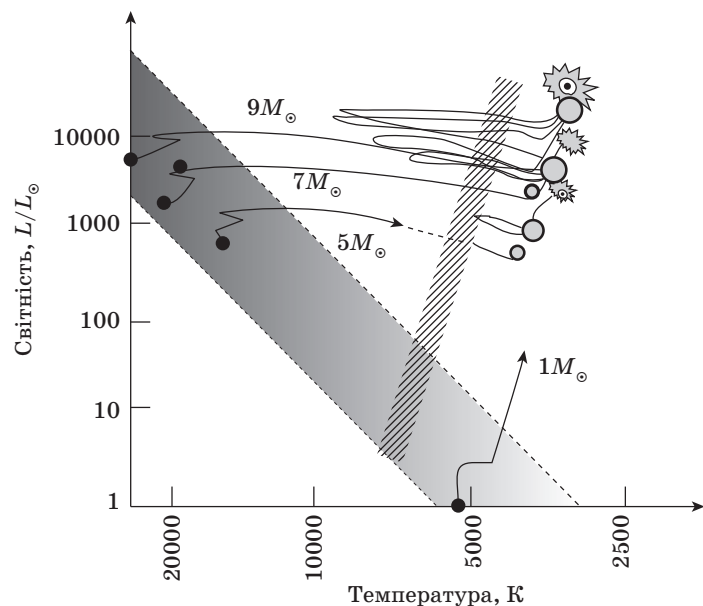


Рис. 27.4 Треки еволюції зір різної маси

6. Еволюція Сонячної системи

Доля планетних систем перебуває в нерозривному зв'язку з долею їхнього центрального світила.

Маса молодого Сонця перевищувала сучасну, а розміри й світність були на 30 % нижче. Відповідно меншими були й розміри Сонячної системи, Земля була набагато ближчою до Сонця.

Протягом мільярдів років випромінювання й потоки сонячного вітру розсіювали сонячну речовину в космічний простір, зменшуючи масу Сонця. Сила притягання планет до Сонця слабшала, й вони поступово віддалялися від зорі. Але в той же час зростала інтенсивність термоядерних реакцій у надрах Сонця, збільшувалися його розміри й світність.

Незважаючи на поступове віддалення Землі від Сонця, сонячна стала, що характеризує кількість сонячної енергії, яка падає на земну поверхню, практично не змінювалася за всі 4,5 млрд років існування Сонячної системи.

Сучасні наукові методи навіть із застосуванням ЕОМ не дозволяють строго прогнозувати рух планет на період, що перевищує 15 млн років, через неможливість урахувати вплив збурювань. Розрахунки показують, що орбіти Землі, Венери й планет-гігантів

дуже стійкі. Орбіти Марса й особливо Меркурія нестійкі, тож існує ймовірність переходу Меркурія на сильно видовжену орбіту і його небезпечного зближення з Венерою, після чого Меркурій може покинути Сонячну систему.

Подальша доля Сонячної системи залежить від еволюції Сонця.

Світність Сонця поступово зростає, у цей час вона на 30 % вище, ніж була в епоху утворення Сонячної системи. У майбутні 1,1 млрд років яскравість Сонця зросте на 10 %.

У результаті глобального підвищення температури в атмосфері Землі збільшиться вміст водяної пари. Посилиться парниковий ефект, що спричинятиме додаткове нагрівання поверхні Землі, а отже, й випаровування океанів, що посилюватиметься. Водяні пари дисоціюватимуть у верхніх шарах атмосфери Землі під дією ультрафіолетового випромінювання Сонця, й кількість води на планеті поступово зменшуватиметься.

Через 2,4 млрд років світність Сонця зросте ще на 40 % і потужний парниковий ефект зумовить цілковите випаровування всіх морів й океанів. Земля перетвориться на подібну сучасній Венері. Існування всіх сучасних форм життя на Землі стане неможливим.

Поступово, протягом наступних 1,3 млрд років, Сонце перетвориться в червоного гіганта. Ще через 1,6 млрд років воно вичерпає запаси водню в ядрі й поблизу центра Сонця почнуться термоядерні реакції «горіння» гелію. Яскравість Сонця зросте ще вдвічі. Упродовж 1,3 млрд років червоний гігант повільно розшириться в 170 разів і поглине Меркурій. Маса Сонця зменшиться на 27 % від сучасного значення.

Потім розширення призупиниться на 110 млн років, але згодом Сонце за 20 млн років розшириться до розмірів сучасної земної орбіти (радіус Сонця дорівнюватиме 150 млн км!) і стане червоним надгігантом зі світністю, що в 5200 разів перевищує сучасну. Маса Сонця зменшиться до 59 % сучасної маси. Сила тяжіння Сонця буде поступово зменшуватися, й планети віддалятимуться від нього. Земля відійде від Сонця на відстань, що відповідає радіусу сучасної марсіанської орбіти, але навіть тоді температура на її поверхні становитиме близько 1300 °C.

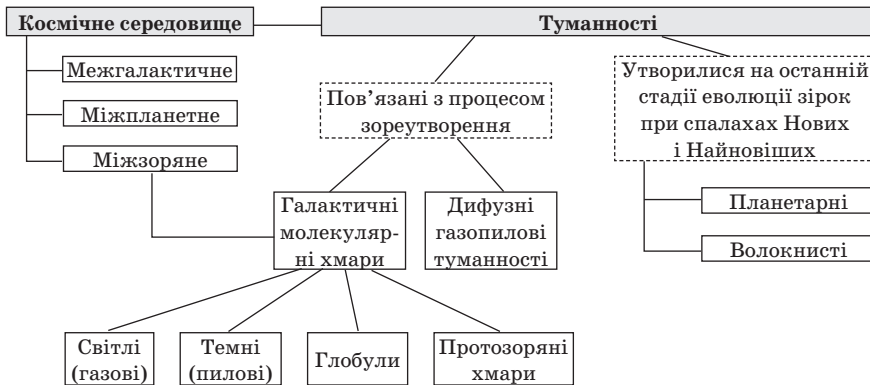
Потім Сонце перетвориться в нову зорю. Після вибуху ядро Сонця стане білим карликом масою 0,4–0,5 $M_{\odot}$. Якщо Венера й Земля вціліють, то радіуси їхніх нових орбіт дорівнюватимуть 1,34 й 1,84 а. о. На випаленій, оплавленій поверхні мертвих планет запанує вічна космічна ніч.

Запитання до учнів у ході викладу нового матеріалу

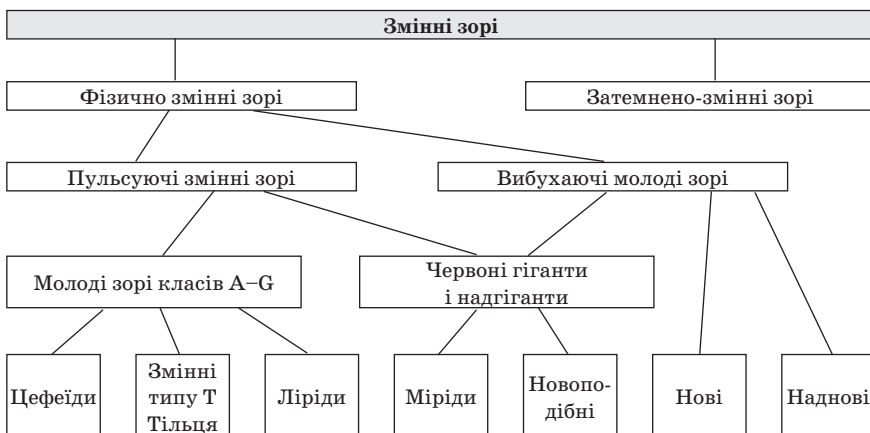
1. Які об'єкти є областями зореутворення в Галактиці?
2. Що таке протозоря?
3. Які реакції відбуваються в зорі на стадії головної послідовності?
4. Яке основне джерело енергії зір головної послідовності?
5. Що таке: світла туманність, темна туманність, газові та газопилові хмари?
6. Чому міжзоряні газ та пил не розподіляються у просторі рівномірно, а концентруються в хмарах?

IV. ЗАКРІПЛЕННЯ НОВОГО МАТЕРІАЛУ

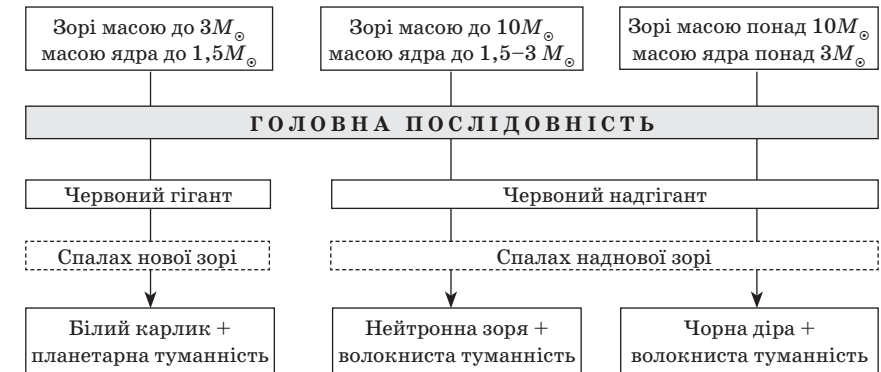
1. Складіть загальну схему «Туманності та космічне середовище».



2. Складіть загальну класифікаційну схему «Змінні зорі»



3. Складіть загальну класифікаційну схему «Еволюція зір».

**Що ми дізналися на уроці**

- Зоряна еволюція — це зміни, які відбуваються із зорями протягом їх старіння.
- Білий карлик, нейтронна зоря, чорна діра — кінцеві стадії еволюції зір, кінцева стадія еволюції зорі залежить від початкової маси зорі.
- Три етапи утворення зір — гравітаційне стискання газопилової хмари, збільшення внутрішньої температури та тиску, ядерний синтез.
- Народження зорі типу нашого Сонця триває близько 30 млн років, народження зорі, маса якої перевищує масу Сонця, — 100 000 років, народження зорі масою, значно меншою від маси Сонця, — близько 100 млн років.
- Довше за всіх живуть зорі з малими масами (червоні карлики), найменше — масивні зорі (блакитні гіганти).
- Зоря головної послідовності перетворюється в червоний гігант, коли вичерпано всі запаси водню.

V. ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ

Читати § 23 (п.2-4), 24 (п.2, 3).

Урок 28/IV–8

Тема. Творче завдання. Визначення характеристик зір

Цілі:

- *навчальна:* повторити та закріпити з учнями знання з теми «Зорі», а саме: їх внутрішню будову, залежність кінцевої стадії еволюції від початкової маси порівняно із сонячною, перевірити та оцінити якість знань учнів з даної теми;
- *розвивальна:* з метою формування наукового світогляду учнів продовжити ознайомлення учнів з методами й способами в пізнанні природи зір; продовжити формування вміння — аналізувати інформацію, пояснювати властивості космічних об'єктів на основі найважливіших фізичних теорій, обчислювати фізичні параметри зір та за одержаними значеннями робити висновки про їх стадію еволюції;
- *виховна:* продовжити формування наукового світогляду учнів: у ході обчислення стадії еволюції зір; на основі розкриття фундаментальних природних закономірностей (причинового взаємозв'язку і взаємозумовленості явищ і процесів, переходу кількісних змін у якісні, єдності і взаємодії протилежностей) і філософських положень про матеріальну єдність і пізнанність світу під час застосування астрономічного матеріалу про зорі та зоряні системи, під час пояснення результатів розрахунків, отриманих у ході виконання творчої роботи.
- *Учні повинні знати:* основні стадії еволюції зір; фізичні процеси, які протікають у надрах зір на різних стадіях їх еволюції; поняття білий карлик, пульсар, червоний гігант, чорна діра.
- *Учні повинні вміти:* аналізувати навчальний матеріал, розв'язувати задачі на розрахунок фізичних параметрів для зір різних класів, описувати фізичні процеси, зоряну еволюцію.

Міжпредметні зв'язки: природознавство, хімія, математика, фізика.

Демонстрації: схеми еволюційних шляхів зір на діаграмі Герцшпрунга—Рессела.

Технічні засоби навчання, наочне приладдя: атлас з астрономії.

Обладнання: атлас з астрономії; робочий зошит з астрономії.

План заняття

Час	Метод навчання	Зміст роботи	Наочне приладдя, ТЗН
0,5 хв	Бесіда	Організаційний момент Перевірка готовності учнів до уроку. Стимулювання діяльності учнів, забезпечення їхньої загальної готовності, своєчасного й організованого початку уроку	
5 хв	Бесіда	Актуалізація знань учнів Узагальнення матеріалу з теми «Зорі», інструктаж щодо виконання творчого завдання на розрахунок стадії еволюції зір	

Час	Метод навчання	Зміст роботи	Наочне приладдя, ТЗН
35 хв	Самостійна робота	Виконання творчого завдання <i>Обсяг завдання:</i> необхідно визначити: 1. Позначення і назву зорі; 2. $I/I_{\odot}$ — яскравість порівняно з яскравістю Полярної зорі ($m = 2,12$); 3. h — висоту у верхній кульмінації на широті 45° ; 4. $T_{\text{эф}}$ — температуру поверхні; 5. D — відстань у парсеках і світлових роках; 6. M — абсолютну візуальну зоряну величину; 7. L — світність; 8. M — маса (у масах Сонця); 9. R — радіус (у радіусах Сонця); 10. ρ — середню густину речовини; 11. g — прискорення вільного падіння; 12. S_p — спектральний клас; 13. Q — послідовність зір (до якої послідовності належить); 14. Φ — стадія еволюції	Роздавальний матеріал, презентація
5 хв		Аналіз отриманих результатів Учні доповідають, на якій стадії еволюції перебуває зоря, для якої вони вели розрахунки	
1 хв		Пояснення домашнього завдання	
		Домашнє завдання Підготувати повідомлення «Наша Галактика»	

ХІД УРОКУ

I. ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ МОМЕНТ

II. АКТУАЛІЗАЦІЯ ЗНАНЬ УЧНІВ

- Які групи утворюють зорі на діаграмі Герцшпрунга—Рессела?
- Які кінцеві стадії еволюції зір вам відомі та яким чином це залежить від початкової маси зорі?
- Як можна визначити відстань до зорі? Які величини для цього потрібні? Яка залежність між парсеками та світловими роками?
- Як в астрономії визначають абсолютну зоряну величину? світність?
- За допомогою яких формула можна визначити радіус зорі, якщо її маса відома? густину? прискорення вільного падіння?

III. ВИКОНАННЯ ТВОРЧОГО ЗАВДАННЯ

Інструктаж щодо виконання творчого завдання

Для виконання творчого завдання наведено формули, табличні й графічні залежності та діаграми, які необхідно застосовувати під час розв'язування практичної справи кожного етапу.

Прискорення сили тяжіння на поверхні світила (Сонця, зорі):

$$g = G \frac{M}{R^2},$$

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

Температуру поверхні Сонця і зір можна обчислити за формулою:

$$T = \frac{7200}{\chi = 0,64} \text{ (К)},$$

де χ — показник кольору, що дорівнює різниці між фотографічною і візуальною зоряними величинами.

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

$$r = \frac{1}{\pi} \text{ (пк)}, r = \frac{206265}{63240} \cdot \frac{1}{\pi} \text{ (св. р.)}, r = \frac{206265}{\pi} \text{ (а. о.)},$$

де π — паралакс зорі, виражений у секундах дуги.

Абсолютна зоряна величина (M) світила, якщо нехтувати поглинанням світла міжзоряним середовищем, становить:

$$M = m + 5 - 5 \lg r, \quad M = m + 5 + 5 \lg \pi,$$

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

Логарифм світності зорі:

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

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

Логарифм радіуса зорі, вираженого в радіусах Сонця:

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

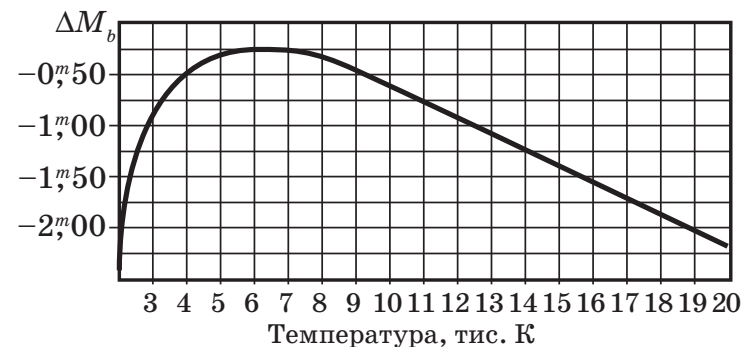
де T — температура зорі, M — абсолютна зоряна величина зорі.

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

$$M_b = M + \Delta M_b,$$

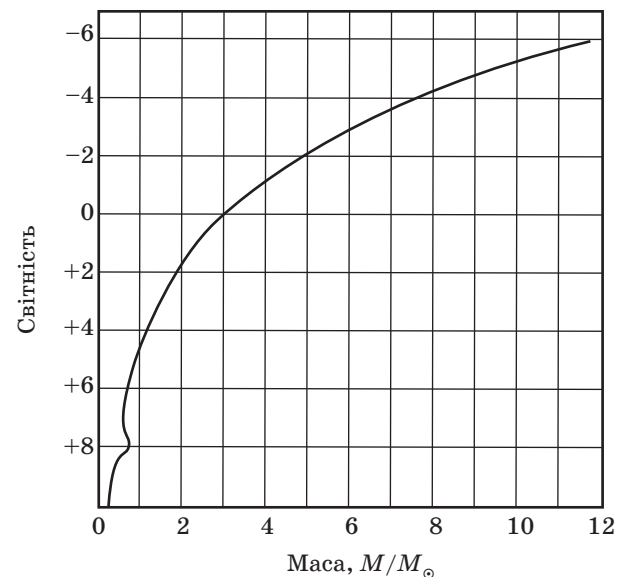
де ΔM_b — болометрична поправка, числове значення якої можна знайти за графіком $\Delta M_b = f(T)$, що показаний на рисунку, або знайти за формулою:

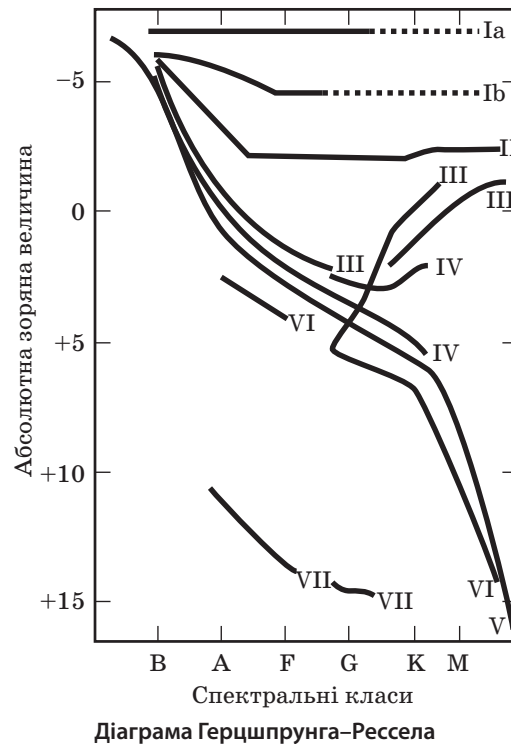
$$\Delta M_b = \frac{29500}{T} - 10 \lg T + 42,45.$$



Графік залежності болометричної поправки від температури

Маси самотніх зір, що належать переважно до головної послідовності, визначають із залежності «маса — світність».





Для прикладу обчислимо всі фізичні параметри зорі β Гончих Псів, якщо нам відомі дані:

- $\pi = 0,108''$ — паралакс;
- $m = 4,32$ — видима зоряна величина;
- $\chi = 0,47$ — показник кольору.

Обсяг завдання

Позначення і назва зорі
I/I_{Π} — яскравість порівняно з яскравістю Полярної зорі ($m = 2,12$)
h — висота у верхній кульмінації на широті 45°
$T_{\text{еф}}$ — температура поверхні
r — відстань у парсеках і світлових роках
M — абсолютна візуальна зоряна величина
L — світність
M — маса (у масах Сонця)

R — радіус (у радіусах Сонця)
ρ — середня густина речовини
g — прискорення вільного падіння
S_p — спектральний клас
Q — послідовність зір (до якої послідовності належить)
Φ — стадія еволюції

Обчислення

- Відстань зорі від нас:

$$r = \frac{1}{\pi} = \frac{1}{0,108} = 9,259 \text{ пк} \approx 9,3 \text{ пк}.$$

- Температура поверхні:

$$T = \frac{7200}{\chi + 0,64} = 6468 \text{ К} \approx 6500 \text{ К}.$$

- Абсолютна зоряна величина:

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

$$\lg L = 0,4(M_{\odot} - M) = 0,4(4,79 - 4,49) = 0,12.$$

- Світність зорі:

$$L = 1,3$$

- Болометрична поправка за графіком:

$$\Delta M_b = -0^m,23.$$

- Абсолютна болометрична зоряна величина:

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

- Маса зорі (у масах Сонця), згідно із залежністю «маса — світність» (див. мал.)

$$M = 1,1 M_{\odot}.$$

- Радіус (у радіусах Сонця):

$$\lg R = \frac{5900}{T} - 0,20M - 0,02 = \frac{5900}{6500} - 0,20 \cdot 4,49 - 0,02 = -0,01103,$$

$$R \approx 1,0 R_{\odot}.$$

9. Середня густина зорі:

$$\rho = \frac{M}{R^3} \rho_{\odot} = \frac{1,1}{1,0^3} \cdot 1,41 \text{ (г/см}^3\text{)} = 1,55 \text{ г/см}^3.$$

10. Прискорення сили тяжіння на поверхні (геліоцентрична гравітаційна стала):

$$GM_{\odot} = 132712,4 \cdot 10^{15} \text{ м}^3/\text{с}^2, \text{ радіус Сонця } R_{\odot} = 696 \cdot 10^6 \text{ м},$$

$$g = \frac{GM}{R^2} = \frac{1,1 GM_{\odot}}{1,0^2 R_{\odot}^2} = \frac{1,1 \cdot 132712,4 \cdot 10^{15}}{1,0^2 \cdot 696^2 \cdot 10^{12}} = 301 \text{ м/с}^2.$$

11. Температура речовини в центрі:

$$T \approx 1,5 \cdot 10^7 \frac{M}{R} = \frac{1,5 \cdot 10^7 \cdot 1,1}{1,0} = 1,65 \cdot 10^7 \text{ К}.$$

12. Густина в центрі зорі:

$$\rho \approx 150 \frac{M}{R^3} = \frac{150 \cdot 1,1}{1,0^3} \text{ (г/см}^3\text{)} = 165 \text{ г/см}^3.$$

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

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

Далі наводимо характеристику даного спектрального класу та визначаємо стадії еволюції зорі.

Творче завдання з теми «Зорі»

Умови завдання «Сонце і зорі» для будь-якого варіанта складаються з двох частин у вигляді відповідних таблиць. У таблиці «Варіанти завдання» наведені умовні номери кожної з 30 взятих зір та їх екваторіальні координати: пряме сходження (α), схиляння (δ), видима візуальна величина (m), показник кольору (χ) і паралакс (p).

Таблиця «Обсяг завдання»: у колонці «Необхідно визначити» містяться загальні для всіх варіантів характеристики зір, які слід з'ясувати.

Варіанти завдання

№	(α)	(δ)	(m),	(χ)	(p)
1	00 ^h 10 ^m ,7	+14°54'	2 ^m ,87	−0 ^m ,20	0'',007
2	01 ^h 28 ^m ,8	+15°05'	3 ^m ,72	+1 ^m ,05	0'',018

№	(α)	(δ)	(m),	(χ)	(p)
3	02 ^h 04 ^m ,3	+23°14'	2 ^m ,23	+1 ^m ,15	0'',044
4	03 ^h 55 ^m ,7	−13°39'	3 ^m ,19	+1 ^m ,43	0'',003
5	05 ^h 49 ^m ,2	−20°53'	3 ^m ,90	+1 ^m ,10	0'',022
6	06 ^h 34 ^m ,8	+16°27'	1 ^m ,93	+0 ^m ,10	0'',031
7	07 ^h 24 ^m ,4	+08°24'	3 ^m ,09	−0 ^m ,29	0'',018
8	08 ^h 44 ^m ,1	+06°36'	3 ^m ,48	+0 ^m ,75	0'',010
9	09 ^h 25 ^m ,1	−08°26'	2 ^m ,16	+1 ^m ,48	0'',016
10	11 ^h 11 ^m ,6	+15°42'	3 ^m ,41	−0 ^m ,02	0'',020
11	11 ^h 46 ^m ,5	+14°51'	2 ^m ,23	+0 ^m ,06	0'',077
12	11 ^h 48 ^m ,1	+02°03'	3 ^m ,80	+0 ^m ,48	0'',100
13	12 ^h 13 ^m ,2	−17°16'	2 ^m ,78	−0 ^m ,04	0'',024
14	12 ^h 31 ^m ,8	+23°07'	2 ^m ,84	+0 ^m ,91	0'',027
15	13 ^h 32 ^m ,1	−00°20'	3 ^m ,44	+0 ^m ,13	0'',035
16	13 ^h 52 ^m ,3	+18°39'	2 ^m ,80	+0 ^m ,55	0'',101
17	15 ^h 14 ^m ,3	−09°12'	2 ^m ,74	−0 ^m ,10	0'',022
18	15 ^h 41 ^m ,8	+06°35'	2 ^m ,75	+1 ^m ,20	0'',044
19	15 ^h 43 ^m ,9	+15°35'	3 ^m ,74	+0 ^m ,10	0'',034
20	15 ^h 57 ^m ,4	−22°29'	2 ^m ,54	−0 ^m ,22	0'',011
21	16 ^h 28 ^m ,1	+21°36'	2 ^m ,81	+1 ^m ,07	0'',018
22	16 ^h 34 ^m ,4	−10°28'	2 ^m ,70	−0 ^m ,03	0'',006
23	16 ^h 55 ^m ,3	+09°27'	3 ^m ,42	+1 ^m ,05	0'',026
24	17 ^h 07 ^m ,5	−15°40'	2 ^m ,63	−0 ^m ,08	0'',047
25	17 ^h 32 ^m ,6	+12°36'	2 ^m ,14	+0 ^m ,17	0'',056
26	18 ^h 32 ^m ,5	−08°17'	4 ^m ,06	+1 ^m ,03	0'',013
27	18 ^h 52 ^m ,2	−26°22'	2 ^m ,14	−0 ^m ,13	0'',021
28	19 ^h 23 ^m ,0	+03°01'	3 ^m ,44	+0 ^m ,40	0'',062
29	22 ^h 52 ^m ,0	−16°05'	3 ^m ,51	+0 ^m ,10	0'',040
30	23 ^h 02 ^m ,3	+14°56'	2 ^m ,57	−0 ^m ,07	0'',0307

$$T = \frac{7200}{\lambda + 0,64} \text{ (К)} \text{ — температура поверхні Сонця та інших зір,}$$

де χ — показник кольору (див. табл.).

Обсяг завдання

№ п/п	Необхідно визначити
1	Позначення і назву зорі
2	I/I_{Π} — яскравість порівняно з яскравістю Полярної зорі ($m = 2,12$)
3	h — висоту у верхній кульмінації на широті 45°
4	$T_{\text{эф}}$ — температуру поверхні
5	D — відстань у парсеках і світлових роках
6	M — абсолютну візуальну зоряну величину
7	L — світність
8	M — масу (у масах Сонця)
9	R — радіус (у радіусах Сонця)
10	ρ — середню густину речовини
11	g — прискорення вільного падіння
12	S_p — спектральний клас
13	Q — послідовність зір (до якої послідовності належить)
14	Φ — стадію еволюції

IV. АНАЛІЗ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Учні доповідають, у якій стадії еволюції перебуває зоря, для якої вони вели розрахунки.

Що ми дізналися на уроці

- Визначили стадію еволюції зорі.
- Повторили основні характеристики та фізичні величини, за допомогою яких можна визначити стадію еволюції зорі.
- Одержали знання про методи та способи дослідження зір, а також апробували їх під час практичної роботи.

V. ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ

Підготувати повідомлення «Наша Галактика».

Урок 29/V–1

Тема. Складові, розмір і спіральна структура Галактики. Склад, маса, чисельність зір. Типи населення Галактики, зоряні скупчення. Місце Сонця в Галактиці, його рух відносно сусідніх зір та центра Галактики. Обертання Галактики. Міжзоряні газ і пил. Космічні промені. Проблема «прихованої маси»

Цілі:

- навчальна:** сформувати уявлення учнів про Галактику, її будову, розміри, спіральну структуру, ознайомити учнів з типами населення, які входять до складу Галактики, місцем розташування Сонячної системи в Галактиці; пояснити суть проблеми «прихованої маси»;
- розвивальна:** розширити уявлення учнів про методи пізнання безмежного Всесвіту, продовжити формування наукового світогляду на основі розкриття причинової обумовленості явищ і процесів, що протікають у небесних тілах й у космічному просторі, шляхом показу методів пізнання Всесвіту, відкриттів Гершеля й Струве; продовжити формування вмінь аналізувати інформацію, пояснювати властивості космічних систем на основі найважливіших фізичних теорій;
- виховна:** продовжити формування патріотичної свідомості учнів шляхом показу досягнень вітчизняної науки в галузі астрофізичних досліджень.

Нові поняття: ядро, диск, гало, корона Галактики, космічні промені.

- Учні повинні знати:** складові частини, розмір та число зір Галактики, місце Сонячної системи в Галактиці.
- Учні повинні вміти:** наводити приклади зоряних скупчень, туманностей, пояснювати будову Галактики, особливості обертання Галактики, суть проблеми «прихованої маси»; розв'язувати задачі з визначення променевих швидкостей зір; відрізняти типи об'єктів у нашій Галактиці.

Міжпредметні зв'язки: природознавство, хімія, математика, фізика.

Демонстрації:

- 1) Фотозображення Чумацького Шляху.
- 2) Схема будови Галактики.
- 3) Зображення зоряних скупчень і туманностей.
- 4) Відеофрагмент «Наша Галактика».

Технічні засоби навчання, наочне приладдя: атлас з астрономії.

Обладнання: атлас з астрономії; робочий зошит з астрономії; презентація «Зоряний острів — наша Галактика»; комп'ютер, мультимедійний проектор, таблиці.

План заняття

Час	Метод навчання	Зміст роботи	Наочне приладдя, ТЗН
0,5 хв	Бесіда	Організаційний момент Перевірка готовності учнів до уроку. Стимулювання діяльності учнів, забезпечення їхньої загальної готовності, своєчасного й організованого початку уроку	
5 хв	Бесіда	Актуалізація знань учнів	

Час	Метод навчання	Зміст роботи	Наочне приладдя, ТЗН
35 хв	Лекція	Пояснення нового матеріалу 1) Наша Галактика. 2) Два типи зоряних скупчень, їхні розміри, зоряний склад, оцінка відстаней до зоряних скупчень. Зоряні асоціації, їхня молодість і зв'язок зі спіральною структурою Галактики	Роздавальний матеріал, презентація
5 хв		Робота з тестами Перевірка знань учнів	
1 хв		Пояснення домашнього завдання	
		Домашнє завдання Читати § 25, 26	

ХІД УРОКУ

I. ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ МОМЕНТ

II. АКТУАЛІЗАЦІЯ ЗНАЬ УЧНІВ

Запитання пропонувано для визначення понять про Галактику, якими володіють учні.

1. Що таке космічна система? Які космічні системи ви знаєте? Які характеристики й властивості вони мають?
2. За якими ознаками класифікуються відомі вам космічні системи?
3. Що таке галактика? Чи є синонімами слова «галактика» й «Чумацький Шлях»?
4. Що ви знаєте про нашу Галактику? Які її розміри? форма? Які космічні об'єкти входять до її складу?
5. Чи існують у Всесвіті інші галактики? Що ви про них знаєте?

III. ПОЯСНЕННЯ НОВОГО МАТЕРІАЛУ

Розповідаючи про основні фізичні характеристики Галактики, необхідно звернути увагу учнів на труднощі її дослідження, обумовлені тим, що ми спостерігаємо Галактику «зсередини». Можна використати аналогію, поставивши учням питання:

— Як легше й точніше скласти план вашого міста: спостерігаючи його з вікна одного будинку чи за даними аерофотозйомки?

Потрібно пояснити учням, як основні деталі структури Галактики (галактичний диск, ядро) спостерігають на зоряному небі Землі. Будову Галактики можна продемонструвати за допомогою відповідної таблиці, але для більш якісного засвоєння матеріалу

учнями краще поетапно, з відповідними поясненнями відтворити її на дошці (учні перемальовують її у свої зошити). Кількісні характеристики Галактики бажано повідомляти як у числовій формі, так і порівняно з розмірами відомих їм об'єктів.

Учні повинні розуміти, що Галактика є гравітаційно зв'язаною космічною системою: сили тяжіння відіграють вирішальну роль в її існуванні й поряд із силами інерції й силами електромагнітної природи визначають структуру й основні властивості Галактики.

1. Наша Галактика

Першим вченим, який припустив, що Чумацький Шлях складається із віддалених зір, був Демокрит. Ґрунтуючись на результатах своїх підрахунків, Вільям Гершель у XVIII ст. зробив спробу визначити розміри Галактики. Він довів, що наша зоряна система має кінцеві розміри й утворює свого роду товстий диск: у площині Чумацького Шляху вона тягнеться на відстань не більше 850 одиниць, а в перпендикулярному напрямі — на 200 одиниць, якщо прийняти за одиницю відстань до Сиріуса. За сучасною шкалою відстаней це відповідає 7300×1700 світлових років.

Ця оцінка загалом правильно відображує структуру Чумацького Шляху, хоча вона вельми неточна. Річ у тому, що, окрім зір, до складу диска Галактики входять також численні газопилові хмари, які послаблюють світло віддалених зір. Перші дослідники Галактики не знали про цю поглинальну речовину і вважали, що вони бачать всі її зорі. Реальні розміри Галактики були встановлені тільки в XX ст. Виявилось, що вона є більш плоским утворенням, ніж припускали раніше. На вигляд Галактика нагадує зерно чечевиці зі стовщенням посередині.

Так, у 40-ві рр. XX сторіччя, спостерігаючи галактику M31, більш відому як туманність Андромеди, німецький астроном Вальтер Бааде (у ті роки він працював в США) відмітив, що плоский лінзоподібний диск цієї величезної галактики занурений у більш розріджену зоряну хмару сферичної форми — гало. Оскільки туманність Андромеди дуже схожа на нашу Галактику, Бааде припустив, що подібна структура і в Чумацького Шляху. Зорі галактичного диска були названі населенням I типу, а зорі гало (або сферичною складовою) — населенням II типу.

Наша Галактика — спіральна система масою від $2 \cdot 10^{11}$ до $8,5 \cdot 10^{11} - 11,5 \cdot 10^{11} M_{\odot}$ ($2,3 \cdot 10^{42}$ кг), радіусом близько $1,5 \cdot 10^4$ —

$2 \cdot 10^4$ пк і світністю $2 \cdot 10^{10} - 4 \cdot 10^{10} L_{\odot}$. Галактика складається зі 150–200 мільярдів зір і безлічі інших космічних об'єктів: понад 6000 галактичних молекулярних хмар, що містять у собі до 50 % міжзоряного газу, туманностей, планетних тіл та їхніх систем, нейтронних зір, білих і коричневих карликів, чорних дір, космічного пилу й газу. Диск Галактики пронизаний великомасштабним магнітним полем, що втримує частинки космічних променів і змушує їх рухатися уздовж магнітних ліній по гвинтових траєкторіях. 85–95 % маси Галактики зосереджено в зорях, 5–15 % — у міжзоряному дифузійному газі. Масова частка важких елементів у хімічному складі Галактики становить 2 %. Вік Галактики $14,4 \pm 1,3$ млрд років. Більша частина зір Галактики утворилася понад 9 млрд років тому.

Основна частина зір, що утворюють Галактику, спостерігається із Землі як біляста, слабосвітна смуга неправильних обрисів, що оперізує все небо, — Чумацький Шлях, у якому зливається сяйво мільярдів слабосвітних зір.

Ми спостерігаємо свою Галактику зсередини, що утруднює визначення її форми, структури й деяких фізичних характеристик. Телескопічним спостереженням доступно лише 10^9 , тобто до 1 % всіх зір Галактики.

Ядро Галактики спостерігається в сузір'ї Стрільця ($\alpha = 17^h 38^m$, $\delta = -30^\circ$), займаючи частину сузір'їв Щита, Скорпіона й Змієносця. Ядро повністю сховане за потужними темними газопиловими хмарами загальною масою $3 \cdot 10^8 M_{\odot}$ в 700 пк від центра Галактики, що поглинають видиме, але пропускають радіо- і інфрачервоне випромінювання. За їх відсутності ядро Галактики було б найяскравішим після Сонця й Місяця небесним світилом.

У центрі ядра спостерігається згущення — kern. Усього в 400 світлових роках від центра, у надрах газопилової туманності Стрілець А масою $10^5 M_{\odot}$ ховається чорна діра масою близько $4,6 \cdot 10^6 M_{\odot}$. У самому центрі в області, розмірами менше за 1 пк і масою $5 \cdot 10^6 M_{\odot}$, імовірно, перебуває дуже густе скупчення блакитних надгігантів (до 50 000 зір).

Наша Галактика має перемичку — бар, з кінців якого в 4 тис. пк від центра Галактики починають закручуватися 3 спіральні рукави. Поблизу одного з них — рукава (вітка) Орiona — перебуває Сонячна система. Друга — вітка Персея — спостерігається в напрямку від центра Галактики на відстані 1,5–2,4 кпк від Сонця. Третя — вітка

Стрільця — перебуває в напрямку центра Галактики в 1,2–1,8 кпк від Сонця.

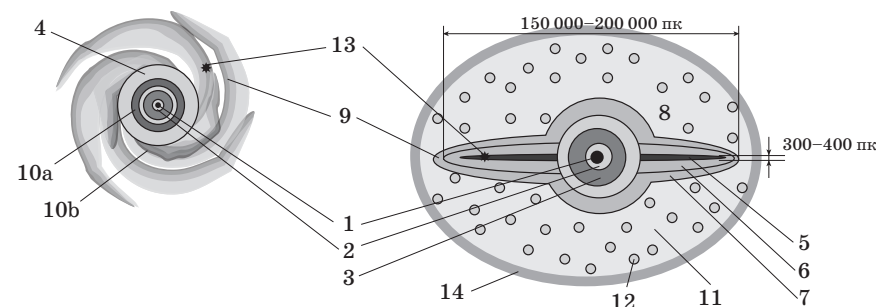


Рис. 29.1. Будова нашої Галактики: 1 — kern; 2 — ядро Галактики; 3 — балдж («здуття»): сферичне населення центра Галактики; 4 — бар — галактична «перемичка»; 5 — молода плоска підсистема (зорі класів O, B, асоціації); 6 — стара плоска підсистема (зорі класу A); 7 — диск Галактики (зорі головної послідовності, нові, червоні гіганти, планетарні туманності); 8 — проміжна сферична складова (старі зорі, довгоперіодичні змінні); 9 — спіральні рукави (дифузійні газопилові туманності, молоді зорі класів O, B, A, F); 10 — зони концентрації ГМХ поблизу ядра (10a) і в «молекулярному кільці» (10b); 11 — найдавніша сферична підсистема (гало) (кульові скупчення, короткоперіодичні цефеїди, субкарлики); 12 — кульові скупчення; 13 — Сонячна система; 14 — газова корона Галактики

Диск

Лише у 1980-х роках астрономи висловили припущення, що Чумацький Шлях є спіраллю із перемичкою, а не звичайною спіраллю. Це припущення було підтверджене 2005 року Космічним телескопом імені Лаймана Спітцера, який показав, що центральна перемичка нашої галактики є більшою, ніж вважалося раніше.

За оцінками вчених, галактичний диск, що видається в різних боки у районі галактичного центру, має діаметр близько 100 000 світлових років. Порівняно з гало диск обертається помітно швидше. Швидкість його обертання не однакова на різних відстанях від центра. Вона швидко зростає від нуля в центрі до 200–240 км/с на відстані 2 тис. світлових років від нього, потім дещо зменшується, знову зростає приблизно до того ж значення і далі залишається майже постійною. Вивчення особливостей обертання диска дозволило оцінити його масу. Виявилось, що вона в 150 млрд разів більше від $M_{\odot}$.

Поблизу площини диска концентруються молоді зорі і зоряні скупчення, вік яких не перевищує декількох мільярдів років. Вони утворюють так звану плоску складову. Серед них дуже багато яскравих і гарячих зір. Газ в диску Галактики також зосереджений в основному поблизу його площини. Він розподілений нерівномірно, утворюючи численні газові хмари — від гігантських неоднорідних за структурою надхмар протяжністю декілька тисяч світлових років до маленьких хмарок, не більших за парсек.

Гало

Галактичний диск оточений сфероїдним гало, що складається зі старих зір та кульових скупчень, 90 % яких знаходяться на відстані понад 100 000 світлових років від центра галактики. Це дозволяє припустити, що діаметр зоряного гало складає 200 000 світлових років. Однак останнім часом було винайдено декілька кульових скупчень, таких як PAL4 та AM1, що знаходяться на відстані більш ніж 200 000 світлових років від центра галактики. Центр симетрії гало Чумацького Шляху збігається з центром галактичного диска. Складається гало в основному з дуже старих, неяскарих маломасивних зір. Вони зустрічаються як поодинокі, так і у вигляді кульових скупчень, які можуть включати понад мільйон зір. Вік населення сферичної складової Галактики перевищує 12 млрд років, його зазвичай приймають за вік самої Галактики.

У той час як галактичний диск містить газ та пил, що утруднює проходження видимих хвиль, сфероїдна компонента не містить таких складових. Активне зореутворення відбувається в диску (особливо в спіральних рукавах, що є зонами посиленої густини). Однак воно не відбувається у гало. Розсіяні скупчення також трапляються переважно в диску. Вважається, що більшість маси нашої галактики складає темна матерія, яка формує гало чорної матерії масою у приблизно 600–3000 мільярдів $M_{\odot}$. Гало темної матерії сконцентроване у напрямку центра галактики.

Зорі сферичної складової концентруються відповідно до центра Галактики. Центральна, найбільш густа частина гало в межах декількох тисяч світлових років від центра Галактики називається балдж (у перекладі з англ. «потовщення»).

Зорі і зоряні скупчення гало рухаються навколо центра Галактики по дуже видовжених орбітах. Через те, що обертання окремих зірок відбувається майже безладно (тобто швидкості сусідніх зір можуть мати будь-які напрямки), гало в цілому обертається дуже поволі.

Ядро

Центр галактики містить компактний об'єкт доволі значної маси (близько 4,3 мільйона $M_{\odot}$), розташований у напрямі сузір'я Стрілець. Цей об'єкт має назву Стрілець A* (англ. *Sagittarius A**). Більшість вчених вважають його супермасивною чорною дірою. Існує припущення, що більшість галактик мають супермасивні чорні діри у своєму галактичному центрі. Навколо масивної чорної діри обертається чорна діра меншого розміру масою від 1000 до 10 000 $M_{\odot}$ з періодом обертання близько 100 років та декілька тисяч відносно незначних.

Для центральних областей Галактики характерна сильна концентрація зір: у кожному кубічному парсеку поблизу центра їх міститься багато тисяч. Відстані між зорями в десятки і сотні разів менше, ніж на околицях Сонця. Як і в більшості інших галактик, розподіл маси у Чумацькому Шляху є таким, що орбітальна швидкість більшості зір цієї Галактики не залежить значною мірою від їх відстані від центра. Далі від центральної перемички та зовнішнього кола звичайна швидкість обертання зір становить 210–240 км/год. Таким чином, орбітальний період звичайної зорі прямо пропорційний лише довжині шляху, який він проходить. Це твердження не справджується відносно Сонячної системи, де різні орбіти мають суттєво різні швидкості обертання, що підтверджує існування чорної матерії.

Вважається, що довжина галактичної перемички складає близько 27 000 світлових років. Ця перемичка проходить крізь центр галактики під кутом 44 ± 10 градусів до лінії між нашим Сонцем та центром галактики. Вона складається переважно із червоних зір, які вважають дуже давніми. Перемичка оточена кільцем, що має назву «Кільце у п'ять кілопарсеків». Це кільце містить більшу частину молекулярного вуглецю, що міститься у галактиці і є найбільш активним регіоном зореутворення у нашій галактиці. Якщо вести спостереження із галактики Андромеди, то галактична перемичка Чумацького Шляху була б найяскравішою його частиною.

Галактика має складний диференційований характер обертання навколо своєї осі (рис. 29.2). Швидкості зір у ядрі досягають 1000–1500 км/с. Швидкість обертання галактичних рукавів нижча від швидкості руху окремих зір на тій же відстані від центра Галактики.

Сонячна система розташовується поблизу екваторіальної площини Галактики в 34 000 світлових років від її центра (на відстані

збігу швидкості обертання Галактики й руху її спіральних рукавів). З аналізу рухів 300 000 зір за зсувом ліній у спектрах завдяки ефекту Доплера встановлено, що Сонячна система переміщується відносно найближчих зір зі швидкістю 20 км/с у напрямку сузір'я Геркулеса й разом із ними обертається навколо центра Галактики зі швидкістю 250 км/с у напрямку сузір'їв Лебеда й Цефея. Точка небесної сфери, у напрямку якої рухається Сонячна система, називається апексом.

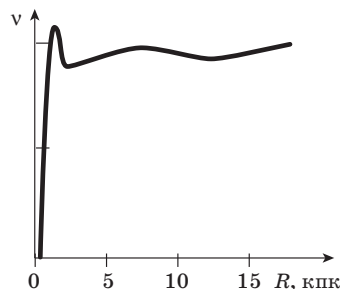


Рис. 29.2. Крива обертання Галактики

Період обертання Сонячної системи навколо центра Галактики становить 195–220 мільйонів років. Середня тривалість галактичного року (T_G) дорівнює 213 млн років.

Концентрація речовини міжзоряного середовища досить нерівномірна. Вона різко зростає в площині обертання Галактики й у шарі завтовшки 500 світлових років діаметром 100 000 світлових років становить 10^{-21} кг/м³. Хмари темної густої пилової матерії, що поглинає зоряне світло, видно на тлі Чумацького Шляху неозброєним оком у сузір'ях Лебеда, Змієносця, Щита, Стрільця. Найбільшої густини вона набуває в напрямку ядра Галактики. На відстані від 4 до 8 тис. пк від галактичного центра розташовується «молекулярне кільце» Галактики — скупчення галактичних молекулярних хмар масою до $3 \cdot 10^9 M_\odot$.

Розріджений нейтральний газ на відстані від зір прозорий для оптичного випромінювання. Вивченню розподілу й характеристик газу в міжзоряному середовищі й галактичних молекулярних хмарах сприяє радіовипромінювання молекулярного водню ($l = 0,21$ м) й гідроксиду ОН ($l = 0,18$ м).

Турбулентна міжзоряна плазма сконцентрована в хмарах, що займають близько 20 % міжзоряного середовища. Поза спіральними рукавами рідкі плазмові хмари розмірами менше 26 пк і гуси-

ною електронів 0,1–0,3 частинки/см виявляються на відстанях до ± 900 кпк від площини Галактики. Хмари в спіральних рукавах (± 200 пк від площини Галактики) мають розміри до 50 пк, електронну густину — 0,2–1,0 частинки/см³. У зонах зореутворення в площині Галактики електронна густина хмар розмірами 10–50 пк досягає 1–10 частинок/см³.

Відносний вік і порядок утворення зір у Галактиці визначають з аналізу хімічного складу зоряних областей — підсистем Галактики. Народження зір у Галактиці протягом мільярдів років зменшує концентрацію міжзоряного газу й сповільнює темпи зореутворення до повного його припинення через «нестачу сировини» для формування зір наступних поколінь. У минулому темп зореутворення був значно вищим. Зараз у всій Галактиці щорічно на зорі перетворюється міжзоряний газ масою від $4M_\odot$ до $10M_\odot$. Він повинен відновлятися, інакше повністю вичерпався б у перші 1–2 млрд років життя Галактики.

Основним «постачальником» міжзоряного газу є зорі, особливо на останніх стадіях своєї еволюції: блакитні й червоні гіганти й надгіганти, нові й наднові породжують протягом року близько $4M_\odot$ міжзоряного газу. Імовірно, Галактика притягує газ із навколишнього її простору (до 1,2–2 $M_\odot$ в рік). Тому кількість міжзоряного газу в Галактиці зменшується дуже повільно.

Помітно змінюється його хімічний склад. У зорях I покоління віком 12–15 мільярдів років концентрація важких елементів становить близько 0,1 %.

Зорі другого покоління Головної послідовності віком 5–7 млрд років містять до 2 % важких елементів.

У сучасних дифузійних туманностях досить багато пилу, різних газів, важких хімічних елементів і складних молекулярних сполук. Молоді зорі класів O, B, A віком 0,1–3 млрд років у розсіяних скупченнях належать до нового, третього покоління зір. Вони містять близько 3–4 % важких елементів.

У гало Галактики спостерігаються «високошвидкісні» хмари атомарного водню, що переміщуються незалежно від її обертання. Одні хмари, у складі яких близько 0,1 % важких хімічних елементів, складаються з речовини, притягнутої Галактикою з навколишнього простору. Інші хмари утворені викидами речовини з галактичного диска під час спалахів наднових у зоряних скупченнях й інших космічних явищ; в їхньому складі — до 1 % важких хімічних елементів.

Важливою складовою міжзоряного середовища Галактики є космічні промені-потоки заряджених елементарних частинок з енергією до 10^{21} еВ: протони (91,7 %), релятивістські електрони (0,92 %), ядра атомів Гелію (6,6 %) і більш важких хімічних елементів (0,72 %). Незважаючи на низьку просторову густину космічних променів (у Землі — 1 частка/см³·с), густина їхньої енергії порівнянна із густиною енергії сумарного електромагнітного випромінювання зір, енергії теплового руху міжзоряного газу й магнітного поля Галактики. Основним джерелом космічних променів є спалахи наднових.

Загальне магнітне поле Галактики має індукцію близько 10^{-10} Тл. Силкові лінії в основному паралельні до галактичної площини й вигинаються уздовж її спіральних рукавів. Взаємодіючи із зарядженими частинками космічних променів, магнітне поле Галактики викривляє траєкторії їхнього руху уздовж силових ліній і гальмує релятивістські електрони, породжуючи нетеплове (синхротронне) випромінювання радіохвиль із довжиною хвилі понад 1 м. Вивчення «варіацій» — просторово-часових змін характеристик космічних променів під впливом різних процесів у міжзоряному просторі й космічних об'єктах — дозволяє досліджувати електромагнітні поля окремих протяжних космічних об'єктів і всієї Галактики загалом. Висока енергія космічних променів робить їх незамінними помічниками фізиків під час вивчення будови речовини й взаємодій елементарних частинок.

ГАЛАКТИКА			
ЯДРО	ДИСК	СПІРАЛЬНІ ГІЛКИ	СФЕРИЧНА СКЛАДОВА
Надмасивна чорна діра (кern)	Галактичні молекулярні хмари «молекулярного кільця»	Дифузійні газопилові туманності	Зорі класів К, М, короткоперіодичні цефеїди, субкарлики, довгоперіодичні змінні
Галактичні молекулярні хмари	Зорі головної послідовності, червоні гіганти й надгіганти	Зоряні асоціації	Кульові зоряні скупчення
Туманності	Туманності	Зорі класів О, В, А, F	Міжзоряне середовище
Зорі різних класів	Розсіяні зоряні скупчення	Міжзоряне середовище	Міжзоряне середовище
Міжзоряне середовище	Міжзоряне середовище	Космічні промені	Космічні промені

IV. ЗАКРІПЛЕННЯ НОВОГО МАТЕРІАЛУ

1. Як виглядав би Чумацький Шлях, якби Земля перебувала: а) у центрі Галактики; б) на краю галактичного диска, у 50 000 св. років від центра Галактики; в) в одному з кульових скупчень сферичної складової; г) на відстані 10 000 св. років над північним полюсом Галактики; д) для спостерігача у Великій Магеллановій Хмарі?
2. Оцініть масу Галактики, що лежить усередині області орбітального руху Сонячної системи навколо центра Галактики, якщо маса Сонячної системи $M \sim 1M_{\odot}$, а період її обертання (галактичний рік) становить 213 млн років.
3. Складіть схему, на якій будуть зазначені всі основні типи, класи й групи космічних об'єктів та їхніх систем, що входять до складу Галактики.
4. 1974 року за програмою SETI до кульового зоряного скупчення М13 у сузір'ї Геркулеса (відстань 24 000 св. років) було відправлено радіоповідомлення про земну цивілізацію. Як ви вважаєте, чи дочекаються наші нащадки відповіді й якщо так, то коли?

Що ми дізналися на уроці

- ГМХ — гігантська молекулярна хмара.
- Галактика (давн.-гр $\Gamma\alpha\lambda\alpha\varsigma\iota\alpha\varsigma$ — Чумацький Шлях, від грец. $\gamma\alpha\lambda\alpha\varsigma\iota\alpha\varsigma$ — молочний) — гравітаційно пов'язана система із зір, міжзоряного газу, пилу і (гіпотетично) темної матерії.
- Усі складові частини галактик рухаються навколо спільного центра мас.
- Населення першого типу — зорі типу нашого Сонця і його сусіди перебувають у спіральних рукавах. Це відносно молоді зорі, занурені в пил і газ, з яких вони утворюються. Населення другого типу — кульові скупчення — розташовуються поблизу галактичного ядра і в гало. Зорі мають низький вміст металів і складаються з водню та гелію.

V. ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ

Читати § 25, 26.

Урок 30/V–2

Тема. Класифікація галактик. Типи, склад і структура галактик. Найближчі галактики. Закон Габбла. Червоне зміщення й визначення відстаней до галактик. Просторовий розподіл галактик. Місцева група галактик. Радіогалактики. Квазари. Поняття Всесвіту в астрономії. Великомасштабна структура нашого Всесвіту

Цілі:

- *навчальна:* сформувати уявлення учнів про галактики як один з основних типів космічних систем, дати класифікацію галактик за морфологічними ознаками; ознайомити з основними класами галактик (еліптичні, лінзоподібні, спіральні, неправильні, взаємодіючі, карликові), їхньою структурою, складом і фізичними характеристиками; розповісти про космічний процес формування галактик з газових протогалактичних хмар і механізми утворення основних класів галактик; ознайомити з космічним явищем активності ядер галактик, міжгалактичним середовищем, міжгалактичними відстанями, системами галактик: групами, скупченнями і надскупченнями галактик;
- *розвивальна:* продовжити формування вмінь аналізувати інформацію, пояснювати властивості космічних систем на основі найважливіших фізичних теорій, використовувати узагальнені плани вивчення космічних об'єктів, процесів й явищ, робити висновки, розв'язувати завдання на обчислення міжгалактичних відстаней і характеристик галактик
- *виховна:* продовжити формування наукового світогляду учнів у ході ознайомлення з історією вивчення, природою й походженням галактик різних класів і галактичних систем, їх основними фізичними характеристиками, будовою й складом; політехнічної освіти під час повторення й поглиблення знань про методи й інструменти, що застосовують для вивчення галактик (спектральний аналіз, радіоастрономія тощо).

Нові поняття: ядро, диск, гало, корона Галактики, космічні промені.

- *Учні повинні знати:* основні ознаки поняття «галактика», як окремого типу космічних систем; класифікацію галактик на основі їхніх морфологічних ознак; про основні класи галактик (еліптичні, лінзоподібні, спіральні, неправильні), системи галактик (групи, скупчення і надскупчення галактик).
- *Учні повинні вміти:* наводити приклади типи галактик, пояснювати відмінності між поняттями Всесвіт і наш Всесвіт; обґрунтовувати фізичну суть спостереженого червоного зміщення в спектрах галактик; розв'язувати задачі на визначення відстаней до галактик за зміщенням спектральних ліній та з використанням закону Габбла.

Міжпредметні зв'язки: природознавство, хімія, математика, фізика.

Демонстрації:

- 1) Фотозображення галактик різних типів.
- 2) Схема «камертона» Габбла.
- 3) Зображення зоряних скупчень і туманностей.
- 4) Відеофрагмент «Світ галактик».
- 5) Схема великомасштабної структури нашого Всесвіту.

Технічні засоби навчання, наочне приладдя: атлас з астрономії, таблиці.

Обладнання: атлас з астрономії; робочий зошит з астрономії; презентація «Світ галактик», відеофрагмент «Світ галактик»; комп'ютер, мультимедійний проєктор, таблиці.

План заняття

Час	Метод навчання	Зміст роботи	Наочне приладдя, ТЗН
0,5 хв	Бесіда	Організаційний момент Перевірка готовності учнів до уроку. Стимулювання діяльності учнів, забезпечення їхньої загальної готовності, своєчасного й організованого початку уроку	
7 хв	Самостійна робота	Перевірка знань учнів Робота з тестами	
1–2	Бесіда	Актуалізація знань учнів	
35 хв	Лекція	Пояснення нового матеріалу 1) Галактики. 2) Утворення галактик. 3) Галактичні системи	Роздавальний матеріал, презентація
1 хв		Пояснення домашнього завдання	
		Домашнє завдання Читати § 27	

ХІД УРОКУ

I. ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ МОМЕНТ

II. ПЕРЕВІРКА ЗНАНЬ УЧНІВ

1. Галактика — це...:

- а) система із 200 мільярдів зір, міжзоряного пилу, туманностей, зоряних скупчень та інших космічних тіл, космічних променів та полів;
- б) скупчення зір на Чумацькому Шляху;
- в) інша назва Сонячної системи;
- г) інша назва Всесвіту.

2. Емісійні туманності...:

- а) мають неперервний спектр з яскравими лініями поглинання;
- б) мають емісійний спектр з лініями випромінювання;

3. 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.

4. Найбільш масивними об'єктами міжзоряного середовища є:

- а) планетарні туманності;

- б) гігантські молекулярні хмари;
в) глобули.
5. Найбільш холодними об'єктами міжзор'яного середовища є:
а) хмари Н I, області неіонізованого водню;
б) хмари Н II, області іонізованого водню (емісійні туманності);
в) глобули.
6. Джерелом найбільш інтенсивного збору пилу в Галактиці є:
а) наднові зорі та червоні гіганти;
б) планетарні туманності;
в) спалахи нових зір.
7. Які лінії випромінювання водню, як правило, є найбільш яскравими в емісійних спектрах яскравих туманностей?
а) Найбільш яскравими є лінії водню H_d ($\lambda = 410$ нм) і H_g ($\lambda = 434$ нм);
б) найбільш яскравими є лінії водню H_a ($\lambda = 652$ нм) і H_β ($\lambda = 486$ нм);
в) найбільш яскравими є лінії водню H_a ($\lambda = 652$ нм) і H_γ ($\lambda = 434$ нм).
8. Зазначте на схемі, як відбувається кругообіг речовини в Галактиці.

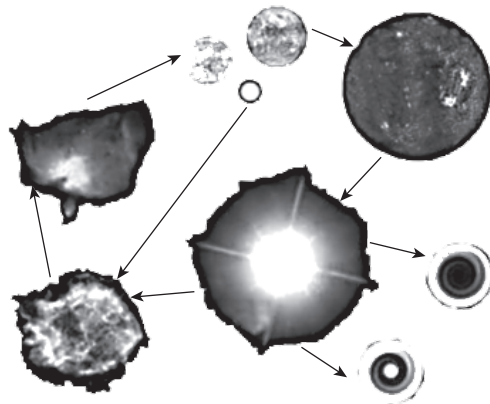


Рис. 30.1 Кругообіг речовини в Галактиці

Відповіді

1	2	3	4	5	6	7	8
а	а	в	б	в	а	б	Відповідь на рисунок



Рис. 30.2 Кругообіг речовини в Галактиці (відповідь)

III. АКТУАЛІЗАЦІЯ ЗНАЬ УЧНІВ

Запитання пропонується для визначення понять про Галактику, якими володіють учні.

1. Що таке космічна система? Які космічні системи ви знаєте? Які характеристики й властивості вони мають?
2. За якими ознаками класифікують відомі вам космічні системи?
3. Що таке Галактика? Чи є синонімами слова «Галактика» й «Чумацький Шлях»?
4. Що ви знаєте про нашу Галактику? Які її розміри? форма? Які космічні об'єкти входять до її складу?
5. Чи існують у Всесвіті інші галактики? Що ви про них знаєте?

IV. ПОЯСНЕННЯ НОВОГО МАТЕРІАЛУ

Наша Галактика — це лише один з величезної кількості різноманітних «зор'яних островів». До початку XX століття галактики не виділялися в окремий тип космічних систем й уважалися різновидом туманностей («спіральними туманностями»). Наука почала вивчати галактики тільки в 20-х роках XX століття, а великомасштабний розподіл скупчень і надскупчень галактик у нашій частині Всесвіту було досліджено лише у 80-х роках минулого століття. Позагалактична астрономія оперує якісно іншими, непорівнянними зі звичними нам земними просторово-часовими масштабами сотень мільйонів і мільярдів парсек і мільярдів років.

Подібності й відмінності між зоряними й галактичними системами обумовлено різним рівнем складності їхньої організації:

- подібно до зоряних систем, галактичні системи є гравітаційно зв'язаними космічними системами, що мають спільне походження й переміщуються в просторі як єдине ціле;
- якщо менше 10 % зір у межах галактик об'єднуються в космічні системи (кратні зорі, зоряні асоціації й скупчення), то практично всі галактики є членами груп і скупчень галактик;
- елементи галактичних систем мають різний рівень складності організації; одиночні галактики зустрічаються винятково рідко;
- якщо відстані між окремими зорями в межах галактик перевищують їхні розміри в 10^7 – 10^8 разів, то відстані між галактиками в галактичних системах перевищують їхні розміри лише в 10 – 10^2 разів. Це є одним з наслідків однорідності Всесвіту та однією з його найважливіших властивостей.

1. Галактики

Галактики — гігантські просторово відокремлені, гравітаційно зв'язані системи космічних тіл, основними структурними елементами яких є від 10^6 до 10^{13} зір, що містять у собі до 95 % видимої галактичної речовини, різні види туманностей, планетні тіла й інші космічні об'єкти. Маса галактик від 10^{36} до 10^{43} кг, розміри від 10^3 до пк, вік — понад $1,3 \cdot 10^{10}$ років.

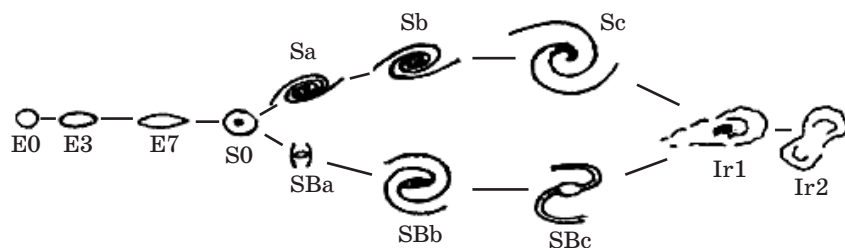


Рис. 30.3. Схема класифікації галактик за Е. Габблом

Наймасивніша з відомих галактик — Малін I (у сузір'ї Діви) — $2 \cdot 10^{44}$ кг, що у 100 разів масивніша від нашої Галактики; найяскравіша A 10214+4724 — вона в 300 000 разів яскравіша від Галактики; найслабша — карликова в сузір'ї Секстанта, має світність $L = 100\,000 L_{\odot}$; найбільша — 3C 236 у сузір'ї Діви, Абелл 2029 має розміри у 8 млн св. років.

Галактики традиційно класифікують за зовнішнім виглядом (структурою) і морфологічними ознаками.

Еліптичні галактики (E) найбільш прості за структурою й складом і становлять від 17 до 25 % від загального числа галактик. Вони мають масу від 10^5 до $10^{13} M_{\odot}$, сфероїдальну форму, не містять зір високої світності, а їхня яскравість плавно зменшується від центра до периферії. Залежно від ступеня стиску еліптичні галактики поділяються на 8 видів: від сферичних E0 до чечевицеподібних E7.

Лінзоподібні галактики (S0) схожі на сильно видовжені еліптичні системи, але мають східчасте збільшення яскравості від периферії до центра з яскравим ядром, що добре виділяється (до 20 % від загального числа галактик).

Спіральні галактики (S) — найпоширеніший клас галактик (до 50 % від загального числа). Мають масу від 10^8 до $10^{12} M_{\odot}$ і світність 10^{34} – 10^{38} . Навколо яскравого ядра спостерігається сферичне здуття (балдж), від якого закручуються два й більше клоччастих спіральних рукави, що утворюють плоский диск і містять у своєму складі численні газопилові туманності й молоді зорі високої світності. За ступенем розвитку спіралей і зменшенням видимих розмірів ядра поділяються на 3 підкласи: Sa, Sb, Sc.

У нормальних спіральних галактиках (Sa, Sb, Sc) рукави починаються відразу від ядра.

У пересічених спіральних галактиках (SBa, SBb, SBc) центральне ядро перетинається по діаметру поперечною смугою, з кінців якої починають закручуватися спіральні рукави.

Наша Галактика — пересічена спіральна система класу SBb.

Неправильні (ірегулярні) галактики (Ir) відзначаються відсутністю чітко вираженого ядра й обертальної симетрії (від 5 до 13 % всіх галактик). Мають маси менше $10^{10} M_{\odot}$ і світність до 10^{36} Дж/с. Галактики підкласу Ir характеризуються несиметричним розподілом яскравості, але більш симетричним розподілом речовини, ніж галактики, що мають певну форму, підкласу Ir2.

Неправильні галактики Велика Магелланова хмара (масою $6 \cdot 10^9 M_{\odot}$) і Мала Магелланова хмара ($1,5 \cdot 10^9 M_{\odot}$) є супутниками нашої Галактики, що обертаються навколо неї на відстанях 50 й 60 кпк під дією сил тяжіння. Крім них, у нашої Галактики є й інші супутники, поменше: 14 карликових еліптичних галактик і кілька позагалактичних кульових скупчень.

В окремі групи галактик виділяють:

- **взаємодіючі галактики**, пов'язані між собою «перемичками», «хвостами» й «гамма-формами», що складаються із зір;

- **компактні галактики**, що не перевищують за своїми розмірами 3000 св. років, та ізольовані в просторі зоряні системи, що мають значно менші розміри, — до 200 св. років;
- **активні галактики** (галактики, що вибухають, галактики Сейферта, Маркаряна, радіогалактики, лацертиди й т. ін.) — виділяються інтенсивним світінням у радіо- або ультрафіолетовому діапазоні, випусканням γ -квантів високих енергій, надзвичайно яскравими ядрами з подвійними й навіть кратними джерелами випромінювання, у яких відбуваються бурхливі процеси, супроводжувані викиданням потужних потоків газу (джетів) зі швидкістю понад 1000 км/с (до 1 % від загального числа галактик). Джети починають формуватися в безпосередній близькості (менше 0,1 пк) від надмасивних чорних дір масою $10^8 - 10^9$ кг у центрах ядер активних галактик; на відстані близько 1 пк неототожнена сила (імовірно, закручене надпотужне магнітне поле) стискає потік частинок у десятки разів, перетворюючи його у вузький струмінь завдовжки в $10^3 - 10^4$ пк.

Активність ряду галактик можна пояснювати процесами, що відбуваються в результаті їх тісної взаємодії (злиття). Так, зіткнення галактики M81 і M82 близько 600 000 років тому призвело до утворення в межах їхнього контакту сотень гігантських областей найактивнішого зореутворення, через що галактика M82 спостерігається зараз як така, що вибухає.

В особливий клас космічних об'єктів слід виділити квазари й квазари — квазізоряні джерела оптичного й радіовипромінювання незначних розмірів (менше 1 св. місяця), але надзвичайної потужності: в оптичному діапазоні вони випромінюють до 10^{39} Дж/с, що в сотні разів більше за звичайні галактики, а радіовипромінювання квазарів у 100–1000 разів потужніше за оптичне.

Відстань до галактик визначається декількома способами на основі спостережень тих об'єктів, що перебувають у них:

- 1) зір цефеїд — на основі співвідношення «період зміни блиску — світність цефеїди»;
- 2) зір яскравих блакитних і червоних гігантів і надгігантів — за основною фотометричною формулою

$$\lg r = 0,2(m - M) + 1,$$

де m — видима зоряна величина зорі, M — абсолютна зоряна величина зорі, яка визначається на основі закономірностей (діаграм) «спектр—світність» й «кольори—світність»;

- 3) спалахів нових і наднових (на основі тієї ж фотометричної формули).

На жаль, ці методи застосовні лише для вимірювання відстані до найближчих галактик, а це можливо лише за умови використання наймогутніших телескопів для дослідження окремих зір. Відтак внаслідок певних причин отримані результати мають певні розбіжності, тобто є недостатньо точними. У 2000–2001 рр. була зроблена перша спроба визначити відстань до найближчих галактик найбільш точним і стійким до різних перешкод паралактичним способом: використовувалася система радіотелескопів, що працює в режимі радіоінтерферометра.

Відстань до далеких галактик визначається на основі закону Габбла

$$r = \frac{v}{H} = \frac{c}{H} \frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{c}{H} z.$$

У цей час середня відстань між окремими галактиками в скупченнях у середньому в 100 разів перевищує розміри галактик і продовжує збільшуватися. В епоху формування галактики були ближче одна до одної й частіше взаємодіяли між собою. Під час зіткнень галактик їхні протяжні газові корони розсіювалися по всьому скупченню. Більш масивні галактики, рухаючись усередині скупчень, прискорюють рух інших галактик, а самі гальмуються, захоплюючи газ із корон галактик.

Через 3 мільярди років Велика Магелланова хмара зіптовхнеться з нашою Галактикою й вона на якийсь час перейде в групу взаємодіючих галактик. Оскільки це «падіння» є досить повільним процесом, що триватиме сотні мільйонів років, а середня відстань між зорями Галактики — десятки світлових років, то ця «космічна катастрофа» жодною мірою не позначиться на Сонячній системі. Кілька мільярдів років тому подібна катастрофа відбулася з карликовою галактикою: у результаті більшість її зір розсіялося в Галактиці, а центральне густе ядро спостерігається як найбільше кульове зоряне скупчення ω Центавра.

Найближча спіральна галактика M31 — Туманність Андромеди — має масу $3,6 \cdot 10^{11} - 10^{12} M_{\odot}$, перебуває на відстані 750 кпк від нашої Галактики й поступово зближається з нею. Через 6 мільярдів років вони зблизяться до 20–400 кпк й, можливо, зіллються. На відміну від інших космічних об'єктів, одиночні галактики спостерігаються винятково рідко. Як правило, вони є елементами яких-небудь великих галактичних систем — груп, скупчень і надскупчень галактик.

Групи галактик містять у собі до 100 галактик з їхніми супутниками, що мають загальне походження, гравітаційно зв'язані між собою і як єдине ціле переміщуються в просторі. Наша Галактика входить до Місцевої групи галактик.

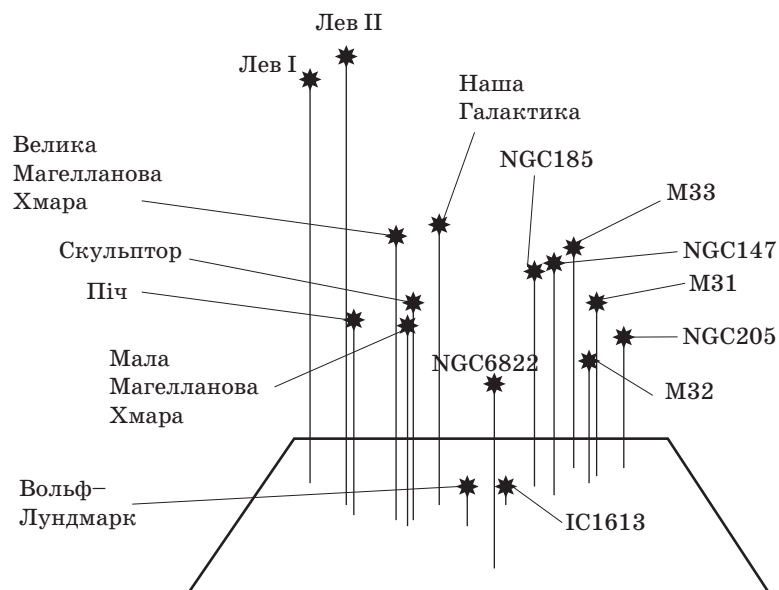


Рис. 30.4. Місцева група галактик

До Місцевої групи галактик розмірами до 1400 кпк входить 38 об'єктів, у тому числі 4 спіральних, 20 еліптичних й 14 неправильних галактик. Її центр має розташований на лінії, що з'єднує нашу Галактику з М31 на відстані 40 кпк від останньої. Взаємне зближення галактик Місцевої групи може призвести до того, що через $10^{11} - 10^{12}$ років вони зіллються в одну надгалактику.

Скупчення галактик — це системи галактик, зв'язаних спільністю походження й силами взаємного тяжіння. 7000 відомих скупчень розмірами від 3 до 20 Мпк містять у собі до 90 % всіх галактик.

Місцева група галактик входить у скупчення галактик у сузір'ї Діви розмірами до 5 Мпк, що включає в себе понад 200 галактик високої й середньої світності. Під дією сил тяжіння вона переміщується зі швидкістю 600 км/с в напрямку сузір'я Гідри, до Великого Атрактора (Притягувача) — гігантського скупчення галактик АСО 3627 масою понад $10^4 M_{\odot}$, віддаленого на відстань 70 Мпк. Скупчення в Діві являє собою центральне згущення нашого надскупчення.

ня розмірами до 60 Мпк, що включає в себе понад 20 000 великих галактик. Його найближчі сусіди — надскупчення в сузір'ї Лева (до нього 140 Мпк) і в Геркулесі (150 Мпк).

Надскупчення галактик являють собою системи скупчень галактик розмірами 50–150 Мпк, що складаються з декількох багатих скупчень, дрібних груп й одиночних галактик. До складу надскупчень входить до 50 000 галактик. У цей час відомо близько 50 надскупчень.

Система надскупчень галактик утворює структуру Метагалактики — частини Всесвіту, у якій ми живемо і яка доступна нашим спостереженням. Далі слід сформулювати поняття про космічний процес утворення галактик з речовини гігантських газових протогалактичних хмар.

2. Утворення галактик

Формування галактик почалося, очевидно, майже одночасно і в повному обсязі відомої частини Всесвіту через мільярд років після його утворення, але в протогалактичних хмарах з різними фізичними характеристиками (масою, розмірами, швидкістю обертання й т. ін.) це відбувалося по-різному. Утворення галактичних скупчень, галактик і космічних об'єктів (зір, планетних тіл і т. ін.), що входять до їхнього складу, тісно пов'язане з еволюцією газових хмар — космічних туманностей — і залежить від їхніх основних фізичних характеристик: маси, розмірів, розподілу густини, наявності й швидкості їх обертання навколо своєї осі, магнітного поля, температури й складу речовини.

Якщо розподіл густини усередині хмари в разі її стиску під дією сил тяжіння залишається однорідним, то гравітаційна енергія частинок збільшується пропорційно зменшенню розмірів хмари, а теплова енергія не змінюється: процес стиску ізотермічний, поки густина речовини не досягне значення, за якого теплове випромінювання активно взаємодіє з атомами речовини й не залишає хмару, а нагріває її зсередини, збільшуючи тиск газу. Сили тиску газу врівноважують сили тяжіння й зупиняють стиск хмари біля «теплової межі».

Якщо хмара споконвічно оберталася, то швидкість обертання зростатиме пропорційно зменшенню розмірів хмари в разі її гравітаційного стиску. Відцентрова сила, що дедалі збільшується, зупиняє стиск хмари біля «обертальної» межі. У цей час спостерігається трохи подібних темних, але так і не сформованих протогалактичних хмар.

У разі одночасного збільшення густини і глибини хмари під час її стиску поблизу центра хмари починаються інтенсивні процеси утворення зір, що зменшують концентрацію газу. Процес зореутворення врівноважує гравітаційний стиск біля «конденсаційної межі».

Але якщо сума теплової, обертальної, магнітної й т. ін. енергій на початку стиску були менше від гравітаційної енергії хмари, стиск безупинний: газова хмара стискується до розмірів $R_g \leq \frac{2GM}{c^2}$ і перетворюється на чорну діру.

Остаточна доля хмари — перетворення в галактику певного класу — залежить від співвідношення всіх трьох «меж» і низки інших величин (так, початкове магнітне поле посилюється пропорційно зменшенню розмірів хмари й впливає на рух іонізованого газу).

Якщо хмара мала початкове обертання, але була однорідною за густиною, утвориться неправильна галактика. У неправильні галактики перетворюються спіральні галактики, що не сформувалися, поблизу центра яких стався вибух або які втратили форму, взаємодіючи з іншою галактикою.

Якщо хмара не мала початкового обертання, а густина її збільшувалася до центра, утворюється еліптична галактика. Сферичні скупчення галактик з переважанням еліптичних і лінзових систем утворилися з відносно невеликих згустків газу, що не мали обертального моменту. Найдавніші блакитні карликові еліптичні галактики утворилися через 1–3 млрд років після утворення Метагалактики.

Гравітаційний стиск протогалактичної хмари може бути зупинено силами внутрішнього тиску газу біля «теплової межі», відцентровою силою біля «обертальної межі», процесами зореутворення біля «конденсаційної межі» і т. ін. або комбінованою дією цих сил:

- якщо хмара мала початкове обертання, але була однорідною за густиною, утворюється неправильна галактика. У неправильні галактики перетворюються спіральні галактики, що не сформувалися, у яких стався вибух поблизу центра або які втратили форму під час взаємодії з іншою галактикою;
- якщо початкова густина у центрі хмари була значно вище, ніж на периферії, утворюється лінзоподібна галактика;
- якщо хмара не мала початкового обертання, а густина її збільшувалася до центра, утворюється еліптична галактика. Так

сферичні скупчення галактик з переважанням еліптичних і лінзових систем утворилися з відносно невеликих згустків газу, що не мали початкового обертання;

- якщо хмара мала початкове обертання й густина її збільшувалася в напрямі до центра, утворюється спіральна галактика: хмара з великим моментом імпульсу розвивається в клас Sc, із середнім — у клас Sb і з малим — у клас Sa. Скупчення спіральних галактик виникали під час дроблення великих хмар на фрагменти зі значною кількістю варіантів розподілу моменту імпульсу серед окремих згустків.

Під час формування спіральних галактик центральна частина хмари стискується швидше й сильніше за периферійні зони. Коли густина речовини поблизу центра хмари досягне певного «граничного» показника, утворюється квазар або активне ядро галактики; його потужне випромінювання й потоки елементарних частинок створюють у хмарі ударну хвилю, що стискає газ і стимулює утворення зір I покоління й кульових скупчень у повному об'ємі протогалактики. Під час подальшого стиску протогалактики газ концентрується в площині обертання й утворює диск. При цьому відбувається послідовне формування окремих частин (підсистем) галактики, що різняться за віком об'єктів, які до них входять, кількістю важких елементів у їхньому складі, характером руху й розташування зір у просторі. Подальшому стиску газу перешкоджає тиск магнітного поля й космічних променів.

Швидкість обертання речовини диска навколо ядра галактики диференційована й убуває у напрямі від центра до периферії. У речовині галактичного диска поширюються первинні потужні спіральні хвилі стиску. Протягом першого оберту галактики вони поширюються від центра до периферії, сильно стискаючи й нагріваючи речовину. Формуються спіральні вітки — рукави галактики. За 2–3 галактичних оберти спалах зореутворення охоплює спіральні рукави, що формуються, різко зменшуючи в них концентрацію газу й знижуючи амплітуду первинних хвиль стиску. Незалежно від початкової форми спіральна структура галактики розвивається впродовж кількох її наступних обертів навколо своєї осі, що триває сотні мільйонів років. Вітки (рукави) обертаються навколо центра галактик у той самий бік, що газ і зорі, але значно повільніше. Сталість форми рукавів підтримують вторинні відносно слабкі спіральні ударні хвилі густини, що виникають під час зіткнення накопиченого у вітках газу з газом, який, обертаючись навколо цен-

тра галактики, доганяє спіральні рукави, входить у них з великою швидкістю, гальмується й ущільнюється. В області спіральних рукавів виникають вихрові структури, схожі із циклонами, а між галактичними вітками формуються антициклони.

Чим масивніше спіральна галактика, тим сильніше стискає тяжіння спіральні рукави, тим вони тонше й тим більше в них зір і менше міжзоряного газу. Швидкість обертання диска галактики дозволяє оцінити її масу в межах певного радіуса, а форма кривої швидкості обертання галактики відбиває розподіл (густину) речовини в ній. Аналіз розподілу мас у дискові спіральних і лінзових галактик заснований на вивченні їхніх кривих обертання, які визначаються за доплерівськими швидкостями газу.

Середній час перетворення протогалактики на галактику становить близько 10^9 років. Відповідно до розрахунків, хмара масою $10^{11} M_{\odot}$, радіусом 200 кпк, початковою швидкістю обертання 40 км/с, напруженістю магнітного поля $2 \cdot 10^{-7}$ Гс й температурою близько $2 \cdot 10^5$ К перетворюється на спіральну галактику розмірами 30 кпк, що містить у своєму складі до 300 мільярдів зір.

Імовірно, на початку еволюції всі галактики мають вищу світність за рахунок більшого числа масивних молодих зір. Утворення зір у надрах стискальних протогалактичних хмар й, пізніше, у галактичних дифузійних туманностях є одним із закономірних етапів розвитку неживої матерії й нерозривно пов'язаний з виникненням і розвитком галактичного населення й структур галактик.

Утворення галактик супроводжувалося потужним спалахом зореутворення (у десятки разів вищий за сучасний!), що тривав близько 1 млрд років і досяг максимуму через 3–5 млрд років після утворення нашої частини Всесвіту, а потім поступово знижувався. Зорі I покоління, у яких вміст важких елементів в 10 000 разів менше від сучасного, формуються майже одночасно по всьому об'єму протогалактичної хмари, у надрах густих (до $10^4 - 10^5$ частинок в с^3), хаотично розташованих згустків молекулярного водню (H_2) з незначною домішкою гідроксиду (ОН, НО) і чадного газу (СО). Поза спіральними рукавами «спусковим механізмом» зореутворення можуть стати ударні хвилі внаслідок вибухів близьких зір, зіткнення хмар між собою, зоряний вітер близьких блакитних надгігантів і т. ін.

Запуск механізму зореутворення можуть забезпечити активні процеси в ядрах галактик, що формуються. Потужне випромі-

нювання й потоки (викиди) елементарних частинок створювали ударні хвилі — оболонки, що сферично розширюються, при цьому навколишній газ ущільнюється, що й ініціює в ньому процес утворення зір. Через сотні мільйонів років, відповідно до зменшення активності галактичних ядер і зниження густини міжзоряного газу, більша частина якого пішла на формування зір I покоління, гігантські вогнища зореутворення розмірами понад 10 000 пк і масами $10^7 - 10^8 M_{\odot}$ розпадаються на дрібні «осередки» розмірами до 100 пк, у яких зореутворення поступово загасає.

Свідками тієї найдавнішої епохи в Галактиці є об'єкти її сферичної складової: кульові зоряні скупчення віком від 9 до 12 млрд років ($\pm 2-3$ млрд років), у яких вміст важких елементів становить 0,1–0,5 %.

«Епідемічний» характер зореутворення дотепер характерний для дуже багатих на міжзоряний газ великих областей неправильних і карликових галактик; «спусковим механізмом» у них може стати навіть виникнення окремих зір.

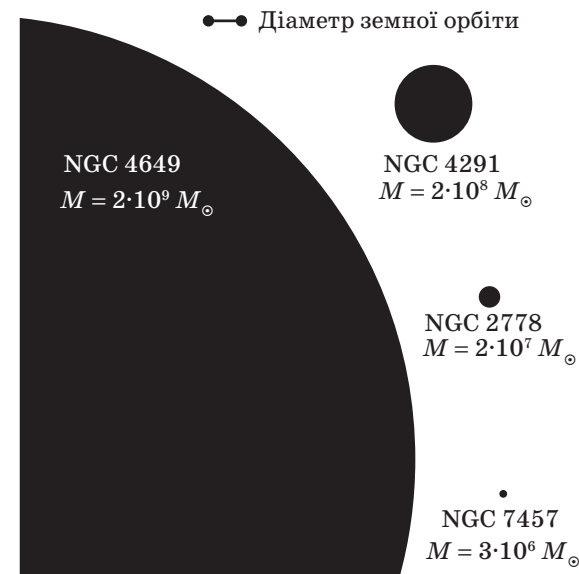


Рис. 30.5. Маси й розміри чорних дір у центрах деяких галактик

В інших галактиках такі ситуації виникають набагато рідше. В еліптичних галактиках незначної (до $10 M_{\odot}$) маси процес зореутворення відбувається 1 раз: весь газ, що не ввійшов до складу зір

I покоління, було викинуто їхнім світловим тиском й «зоряним вітром» за межі галактик і розсіяно в навколишньому просторі. У масивних еліптичних галактиках гравітація притягує цей газ назад усередину галактик, де він падає до їхнього центра й де до цього часу повільно тривають процеси утворення зір ($0,1 M_{\odot}$ у рік).

Утворення галактик може відбуватися не тільки в результаті гравітаційного стиску окремих гігантських протогалактичних хмар, але й у ході об'єднання (злиття) декількох невеликих протогалактик або молодих галактик, які стають «будівельними блоками» для формування більших об'єктів.

Середній вік галактик становить від 11,5 до 13,5 млрд років, хоча відомі як більш молоді (10 млрд років), так і більш старі об'єкти (до 18 млрд років). Імовірно, значна, якщо не більша, частина галактик сформувалася в перші 2–3 мільярди років з моменту утворення Метагалактики. У цей час астрономи спостерігають кілька об'єктів віком від 12 до 13 млрд років, що перебувають на різних стадіях стиску: від густих, непрозорих газових хмар до протогалактик, у яких відбувається утворення зір I покоління, причому до їхнього складу входять деякі молекулярні сполуки: H_2 , OH, NO, CO і т. ін.

V. ЗАКРІПЛЕННЯ НОВОГО МАТЕРІАЛУ

1. У спектрах трьох далеких галактик спостерігається червоне зміщення, що дорівнює: $z_2 = 0,5$, $z_3 = 3$ довжин хвиль спектральних ліній. З якою променевою швидкістю рухаються ці галактики? Визначте відстань до кожної з них, вважаючи $H = 75 \text{ км/с} \cdot \text{Мпк}$.
2. Обчисліть відстань, лінійні розміри й світність квазара 3C48, якщо його кутовий діаметр дорівнює $0,56'$, блиск $16,0^m$, а лінія $\lambda_0 = 2298 \cdot 10^{-10} \text{ м}$ іонізованого магнію зміщена в його спектрі до положення $\lambda_1 = 3832 \cdot 10^{-10} \text{ м}$.
3. Як впливає поглинання світла міжзоряним середовищем на визначення відстаней і розмірів далеких галактик?

Про що ми дізналися на уроці

- Усі складові частини галактик рухаються навколо спільного центра мас.
- Галактики розподілені у просторі нерівномірно вони утворюють групи галактик і скупчення галактик, які мають тенденцію утворювати надскупчення.

- За послідовністю Габбла Чумацький Шлях є спіральною галактикою типу SBb, що разом із галактикою Андромеди, Галактикою Трикутника та низкою інших галактик утворюють Місцеву галактичну групу. У свою чергу, Місцева група входить до надскупчення Діви.

VI. ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ

Читати § 27.

Урок 31/V–3

Тема. Космологія, космологічні парадокси та принципи. Перші моделі будови Всесвіту. Теорія Великого Вибуху. Основні етапи еволюції Всесвіту

Цілі:

- навчальна:** завершити формування природничо-наукової картини світу, ознайомити учнів з історією пізнання Всесвіту, методами, інструментами й особливостями його дослідження; ввести поняття космології як розділу астрономії, що вивчає виникнення й еволюцію Всесвіту, розглянути основні теорії «інфляційного» й «пульсуючого» Всесвіту; вивчити космічний процес виникнення міні-Всесвіту внаслідок енергетичної флуктуації фізичного вакууму й основних етапів його еволюції: сингулярність, явище Великого Вибуху, інфляційне розширення, сучасний стан системи метагалактик і можливе необмежене розширення або стиску до стану сингулярності; космічний процес виникнення Метагалактики й основні етапи її еволюції: початкове розширення, утворення елементарних частинок й атомних ядер; рекомбінацію, реліктове випромінювання й об'єкти, що існували на ранніх стадіях еволюції Метагалактики; «збурювання густини», «млинци» і протогалактичні хмари; утворення галактик; сучасний «зоряний» етап; завершальний етап космічного процесу еволюції Метагалактики; поняття матерія, рух, простір, час і їхній взаємозв'язок, фундаментальні закони матеріального світу й характер дії фізичних законів у межах Метагалактики й міні-Всесвіту;
- розвивальна:** продовжити формування вмінь пояснювати спостережувану структуру й властивості Всесвіту, космічних об'єктів й їхніх систем на основі найважливіших фізичних теорій; аналізувати й систематизувати інформацію, використовувати узагальнені плани вивчення космічних об'єктів, процесів та явищ, будувати класифікаційні таблиці й схеми й розв'язувати задачі на обчислення міжгалактичних відстаней і характеристик космічних об'єктів;
- виховна:** формувати науковий світогляд й сприяти усвідомленню учнями природничо-наукової картини миру на основі систематизації знань про матерію, основні напрямки її розвитку, рух, простір, час і їхній взаємозв'язок, «антропний принцип», фундаментальні закони матеріального світу і філософських положень стосовно матеріальної єдності і пізнаваності світу під час викладу астрономічного матеріалу про природу Галактики й позагалактичних об'єктів, Метагалактики, міні-Всесвіту і Всесвіту;
- Учні повинні знати:** основні ознаки понять Метагалактика, міні-Всесвіт, Всесвіт, сингулярність, явище Великого Вибуху, початкове розширення, утворення елементарних частинок й атомних ядер, рекомбінація, утворення галактик; сучасний стан й можливі шляхи розвитку; основні положення сучасних космологічних теорій: виникнення міні-Всесвіту й Метагалактики, основні етапи її еволюції.
- Учні повинні вміти:** формулювати висновки щодо будови й еволюції Всесвіту, використовувати знання, отримані на уроках з фізики й астрономії, для опису й пояснення сучасної наукової картини світу; аналізувати й систематизувати навчальний матеріал, будувати класифікаційні таблиці й схеми, пояснювати властивості космічних систем на основі найважливіших фізичних теорій, використовувати узагальнені плани вивчення космічних об'єктів, процесів та явищ; розв'язувати задачі на обчислення міжгалактичних відстаней і характеристик космічних об'єктів.

Міжпредметні зв'язки: фізика, філософія.

Демонстрації:

- 1) Схеми, що ілюструють моделі Всесвіту.
- 2) Таблиця-схема основних етапів розвитку Всесвіту.

Технічні засоби навчання, наочне приладдя: мультимедійний проектор, комп'ютер, CD-презентація «Еволюція Всесвіту».

Обладнання: комп'ютер; мультимедійний проектор, екран; презентація «Еволюція Всесвіту».

План заняття

Час	Метод навчання	Зміст роботи	Наочне приладдя, ТЗН
0,5 хв	Бесіда	Організаційний момент Перевірка готовності учнів до уроку. Стимулювання діяльності учнів, забезпечення їхньої загальної готовності, забезпечення своєчасного й організованого початку уроку	
1 хв.	Бесіда	Мотивація навчальної діяльності	
35 хв	Лекція	Пояснення нового матеріалу 1) Космологія, космологічні парадокси і принципи. 2) Моделі розвитку Всесвіту. 3) Етапи еволюції Всесвіту	
8 хв		Закріплення нового матеріалу Перегляд відеофрагмента «Всесвіт»	
1 хв		Підбиття підсумків уроку	
		Домашнє завдання § 28, 29	

ХІД УРОКУ

I. ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ МОМЕНТ

II. АКТУАЛІЗАЦІЯ ЗНАНЬ УЧНІВ

III. ПОЯСНЕННЯ НОВОГО МАТЕРІАЛУ

1. Космологія, космологічні парадокси і принципи

Космологія (космос + логос) — розділ астрономії, що вивчає властивості та еволюцію Всесвіту в цілому. Основу цієї дисципліни складає математика, фізика і астрономія. У своїх завданнях вона часто перетинається з філософією і богослов'ям.

У перекладі з грецької «космологія» означає «опис світового порядку». Це наукова дисципліна, покликана знайти найбільш

загальні закони руху Матерії і побудувати розуміння Всесвіту як гармонійного єдиного цілого. В ідеалі в ній не повинно бути місця випадковості, але всі явища, які спостерігають у Космосі, повинні поставати як прояви загальних законів руху Матерії. Таким чином, космологія — це ключ до розуміння всього, що відбувається як у макрокосмосі, так і в мікрокосмосі.

Космологічний принцип — основне положення сучасної космології, згідно з яким кожен спостерігач в один і той самий момент часу, незалежно від місця та напрямку спостереження, виявляє у Всесвіті одну і ту саму картину. Незалежність від місця спостережень, тобто рівноправність усіх точок простору, називається однорідністю, незалежність від напрямку, тобто відсутність виділеного напрямку в просторі — ізо트로пією Всесвіту. Відсутність ізо트로пії називається анізо트로пією. Очевидно, відсутність однорідності вела б за собою анізо트로пію, тоді як відсутність ізо트로пії не обов'язково призводить до неоднорідності.

Космологічний принцип виконується лише наближено. Дійсно, скупчення галактик, галактики, зорі, планети є відхиленнями від однорідності Всесвіту, оскільки їх існування означає, що фізичні умови в різних точках різні. Проте відхилення від однорідності та ізо트로пії не дуже важливі, якщо ми перейдемо до дуже великих масштабів, що перевищує приблизно кілька сотень мільйонів світлових років.

У минулому багато вчених припускали, що Всесвіт влаштований ієрархічно: кожна матеріальна система входить до складу системи вищого рівня. Якби це було так, це означало б порушення космологічного принципу, оскільки який би об'єм простору ми б не розглядали, завжди існував би виділений напрямок — напрямок до центра найближчої системи більш високого рівня. Однак цю точку зору, очевидно, спростовують даними спостережень. Найголовнішим з них є ізо트로пія реліктового випромінювання. Крім того, фонове випромінювання в рентгенівському діапазоні, що випускають віддалені об'єкти типу квазарів, гарячого міжгалактичного газу і т. ін., також показує високий ступінь ізо트로пії. Нарешті, хоча близькі галактики концентруються до площини місцевого надскупчення (а ще ближчі — до скупчення галактик в сузір'ї Діви), розподіл далеких галактик показує дуже високий ступінь ізо트로пії. Безпосередні підрахунки галактик вказують на те, що чим більше характерний розмір системи галактик (групи, скупчення, надскупчення), тим слабша ця система, виділена з навколишнього фону. Наприклад, системи розміром понад 100 Мпк мають

густину, що лише на кілька відсотків перевищує середню густину Всесвіту. Це якраз і свідчить про те, що зі збільшенням масштабу Всесвіт прагне однорідності й ізо트로пії, у цілковитій відповідності з космологічним принципом. Зазвичай вважається, що перехід від структурованості до однорідності й ізо트로пії відбувається в масштабах близько півмільярда світлових років. Якщо ми візьмемо куб з ребром такого розміру, то кількість зір і галактик всередині нього виявиться приблизно однаковою, у яку б частину Всесвіту ми цей куб не помістили. У видимій частині Всесвіту може поміститися кілька тисяч таких кубів. Це означає, що у великих масштабах Всесвіт однорідний і ізо트로пний, відповідно до космологічного принципу. Однак точний масштаб, у якому відбувається перехід від мілкомасштабної неоднорідності до великомасштабної, поки остаточно не з'ясований.

Космологічні теорії різних епох істотно різняться залежно від того, які фізичні принципи і закони приймають як універсальні і покладені в основу космології. Ступінь універсальності принципів і законів не може бути перевірена безпосереднім шляхом, але побудовані на їх основі моделі повинні допускати перевірку; для області Всесвіту, який спостерігають вчені («астрономічного Всесвіту»), висновки з глобальної моделі повинні підтверджуватися спостереженнями (принаймні, не суперечити їм), а також передбачати нові явища, які раніше не спостерігали. З безлічі моделей, які можна побудувати, лише деякі можуть задовольнити ці критерії. У 70-х рр. XX ст. цю вимогу найкращим чином задовольняли розроблені на основі загальної теорії відносності (в релятивістській Космології) однорідні ізо트로пні моделі нестационарної гарячого Всесвіту.

Історична довідка. Космологічні уявлення зародилися у давнину в результаті спроб людини усвідомити своє місце у Всесвіті. Ці уявлення є характерною складовою частиною різних міфів і вірувань. Більш суворі логічні вимоги задовольняли космологічні уявлення античних філософів шкіл Демокріта, Піфагора, Аристотеля (V–IV ст. до н. е.). Вплив Аристотеля на космологію зберігався протягом майже двох тисячоліть. Перша математична модель Всесвіту, заснована на всій сукупності даних астрономічних спостережень, представлена в «Альмагесті» (II ст. н. е.). Ця геоцентрична система світу пояснювала всі відомі в ту епоху астрономічні явища і панувала близько полутора тисяч років. За цей час не було зроблено жодних астрономічних відкриттів, але стиль мислення суттєво змінився. Запропонована Коперником (XVI ст.) модель ге-

ліоцентричної системи світу, незважаючи на протидію християнського догматизму, дістала дедалі ширшого визнання, особливо після того, як Г. Галілей, застосувавши для астрономічних спостережень телескоп, вперше (перша половина XVII ст.) виявив факти, які важко було поєднати з геоцентричною системою. Ще до цього Дж. Бруно, згідно з ученням Коперника, зробив філософський висновок про нескінченність Всесвіту і відсутність у ньому будь-якого центра. Ця теза значно вплинула на подальший розвиток космології. Заснована на вченні Коперника революція в космології стала вихідним пунктом революції в астрономії і природознавстві загалом. Закон всесвітнього тяжіння (І. Ньютон, 1685), у самій назві якого підкреслена його космологічна універсальність, дав можливість розглядати Всесвіт як систему мас, взаємодіями і рухами яких керує єдиний закон. Однак під час застосування ньютонівської фізики до нескінченної системи мас виявилися так звані космологічні парадокси.

Виникнення сучасної космології пов'язано зі створенням релятивістської теорії тяжіння (А. Ейнштейн, 1916) і зародженням позагалактичної астрономії (20-ті рр. XX ст.). На першому етапі розвитку релятивістської космології головна увага приділялася геометрії Всесвіту (кривина простору-часу та можлива замкнутість простору). Перше дослідження на цю тему, що спирається на ЗТВ, Ейнштейн опублікував 1917 року під назвою «Космологічні міркування до загальної теорії відносності». У ньому він увів три припущення: Всесвіт однорідний, ізотропний і стаціонарний. Щоб забезпечити останню вимогу, Ейнштейн увів у рівняння гравітаційного поля додатковий «космологічний член». Отримане ним рішення означало, що Всесвіт має кінцевий обсяг (замкнутий) і позитивну кривину.

Початок другого етапу можна датувати роботами А. А. Фрідмана (1922–1924), у яких було показано, що викривлений простір не може бути стаціонарним, що він повинний розширюватися або стискатися. Однак ці принципово нові результати здобули визнання лише після відкриття закону червоного зміщення (Е. Габбл, 1929). На перший план тепер виступили проблеми механіки Всесвіту та його «віку» (тривалості розширення).

Третій етап починається моделями «гарячого» Всесвіту (Г. Гамов, друга половина 40-х рр. XX ст.). Основна увага тепер зміщується на фізику Всесвіту — стан речовини і фізичні процеси, що відбуваються на різних стадіях розширення Всесвіту, включаючи

найбільш ранні стадії, коли стан був дуже незвичайним. Крім закону тяжіння, у космології набувають важливого значення закони термодинаміки, дані ядерної фізики і фізики елементарних частинок. Виникає релятивістська астрофізика, яка заповнює існуючу прогалину між космологією і астрофізикою.

Космологічні парадокси, утруднення (суперечності) виникають у разі поширення законів фізики на Всесвіт загалом або досить великі його області. Так, застосовуючи до Всесвіту друге начало термодинаміки (без урахування гравітації) раніше робили висновок про необхідність теплової смерті. Вік Метагалактики в теорії нестаціонарного Всесвіту до 50-х рр. XX ст. був менше за вік Землі. Проте зазвичай під космологічними парадоксами розуміють два конкретних парадокси, що виникають у разі застосування законів класичної (ньютонівської) фізики: фотометричний (парадокс Шезо–Ольберса, названий на ім'я швейцарського астронома Ж. Шезо (1744) і німецького астронома Г. В. Ольберса (1826), та гравітаційний (парадокс Неймана—Зелігера, названий на честь німецьких вчених К. Неймана і Х. Зелігера, XIX ст.). Ці парадокси (космологічні парадокси у вузькому сенсі цього поняття) подолані релятивістською космологією. Класична фізика не може пояснити, чому вночі темно: якщо всюди в нескінченному просторі стаціонарного Всесвіту (або хоча б у доволі великій області) є зорі, що випромінюють світло, то в будь-якому напрямку зору повинна опинитися будь-яка зоря, і тоді вся поверхня неба спостерігатиметься як сліпучо яскрава. Цю суперечність із тим, що спостерігають насправді, і назвали фотометричним парадоксом. У релятивістській космології він не виникає, оскільки через червоне зміщення яскравість далеких об'єктів знижується. Гравітаційний парадокс має менш очевидний характер і полягає в тому, що закон всесвітнього тяжіння Ньютона не дає будь-якої аргументованої відповіді на питання про гравітаційне поле, яке створене нескінченною системою мас (якщо тільки не робити спеціальні припущення про характер просторового розподілу цих мас). Для космологічних масштабів відповідь дає теорія А. Ейнштейна, у якій закон всесвітнього тяжіння уточнюється для випадку дуже сильних гравітаційних полів.

2. Моделі розвитку Всесвіту

Теорія Великого Вибуху — одна з космологічних моделей, яка говорить, що Всесвіт виник понад 18 млрд років тому в результаті величезного вибуху. Уся речовина у нашому сучасному Всесві-

ті спочатку була стиснута в первинне ядро — надзвичайно гарячу густу кулю, яка розпалася внаслідок сильного вибуху. Одночасно з випромінюванням вибух призвів до викиду водню, гелію й вільних електронів.

Викинута в космос речовина розширилася й охолонула. Кілька мільйонів років потому вона сконденсувалася в галактики. Всесвіт продовжував розширюватися, і галактики продовжували віддалятися одна від одної.

Сьогодні ми продовжуємо спостерігати розширення Всесвіту. У галактиках все ще народжуються зорі, і на це витрачається первинний водень, що утворився в результаті Великого Вибуху. У майбутньому весь первинний водень буде повністю використано у зорях. Тоді всі зорі й галактики перестануть світити. Якщо Всесвіт, початком якого став Великий Вибух, розширюватиметься до нескінченності, то він, поступово охолоджуючись, зовсім згасне.

Наступна модель — теорія пульсуючого Всесвіту — стверджує, що початок нашому світу поклав Великий Вибух, але розширення не триватиме вічно. Гравітація його зупинить.

Згідно з цією моделлю Всесвіт у минулому завжди пульсував або стискався і завжди пульсуватиме в майбутньому. Ми стали очевидцями розширювальної фази Всесвіту. Наш Всесвіт розширюється вже протягом 18 млрд років з часу гігантського вибуху речовини, описаного теорією Великого Вибуху.

З часом розширення Всесвіту сповільниться, потім відбудеться повна зупинка, після чого він почне стискатися. У міру стиснення галактики почнуть наблизитися одна до одної доти, доки вся речовина знову не збереться разом. Після цього відбудеться новий Великий Вибух і виникне з тієї ж самої матерії новий Всесвіт, що розширюється. Всесвіт пульсує вічно.

Третя модель — теорія стаціонарного Всесвіту — стверджує, що світ не еволюціонує і не змінюється з часом. У минулому не було початку, і в майбутньому не буде кінця світу. І в минулому, і в сьогоденні, і в майбутньому Всесвіт один і той самий.

В основі цієї моделі лежить досконалий космологічний принцип. Згідно з цим принципом, скрізь у великому масштабі і в усі часи Всесвіт не змінюється. Середня густина речовини весь час підтримується однаковою.

Для того щоб пояснити спостережний факт розширення Всесвіту, ця модель передбачає, що в порожньому просторі безперервно утворюється водень зі швидкістю, достатньою для того, щоб

відшкодувати кількість речовини, яку відносять галактики, які віддаляються.

Багато астрономів заперечують модель стаціонарного Всесвіту через те, що в ній передбачено безперервне утворення нового водню без будь-яких пояснень його виникнення. Гадане явище порушує основний закон фізики — закон збереження енергії, який постулює сталість загальної кількості енергії в ізольованій системі. Енергія не може утворитися або зникнути, але всередині системи може відбуватися її перерозподіл.

Деякі вчені дотримуються теорії стаціонарного Всесвіту через її філософську концепцію. Вона визначає Всесвіт як такий, що завжди існував у минулому і вічно існуватиме в майбутньому.

Щоб перевірити космологічну модель, астрономи встановлюють, чи узгоджується вона з відомими даними спостережень про Всесвіт.

Модель стаціонарного Всесвіту чітко говорить про відсутність будь-яких змін, у той час як моделі Великого Вибуху і пульсуючого Всесвіту, названі еволюційними моделями, безумовно стверджують, що він змінюється.

Кращим способом перевірки існування або відсутності еволюції Всесвіту є порівняння його теперішнього стану з тим, як він виглядав би мільярди років тому. Проте ми не мали можливості проводити подібні спостереження мільярди років тому; зараз астрономи спостерігають галактики, віддалені від нас на різні відстані.

Хоча власне ідея — зазирнути в минуле, вивчаючи сучасні фотографії віддалених галактик, — проста, здійснити її на практиці доволі складно. Сьогоднішня техніка розвинена ще не настільки, щоб можна було проводити детальне фотографування дуже віддалених об'єктів. Тому всі дані, що використовуються для перевірки космологічних моделей, хибують неточностями. Поки що не існує абсолютно точних даних, щоб визначити, яка з моделей є правильною.

Еволюційні теорії передбачають, що Всесвіт ще повинен бути заповнений реліктовим космологічним радіовипромінюванням — слабким залишком випромінювання, що збереглося від Великого Вибуху. Первинне ядро, як бомба, що вибухнула, в усіх напрямках випромінювало потужні потоки коротких хвиль (відповідає температурі приблизно 10 млн К). З часом це випромінювання мало розсіятися, охолонути й рівномірно заповнити весь Всесвіт, що розширюється. У наш час воно приходило б на Землю у вигляді

мікрохвиль (коротких радіохвиль), що відповідають температурі всього лише в кілька кельвінів.

Подібний мікрохвильовий фон, випромінюваний джерелом температурою приблизно 2,7 К, що однаково надходить з усіх напрямків, було зафіксовано 1965 року. Таким чином, астрономи зареєстрували випромінювання, що виникло в результаті Великого Вибуху. Це відкриття змусило засумніватися в правильності моделі стаціонарного Всесвіту.

Спостереження квазарів і визначення густини речовини у Всесвіті дають додаткові важливі ключі для вибору космологічної моделі.

Відповідно до моделі пульсуючого Всесвіту, для того щоб сили гравітації зупинили розширення, середня густина речовини у Всесвіті має становити $5 \cdot 10^{-30}$ г/см³. Густина речовини галактик в усьому Всесвіті, яку спостерігають сьогодні, не досягає і половини цього значення. Протягом останніх десятиліть деякі астрономи проводили дослідження так званої прихованої маси. До складу цієї невидимої матерії могли б входити нейтрино, чорні діри, зорі, які ще не світяться, і деякі інші типи космічних об'єктів.

Якщо квазари насправді настільки далекі, як це впливає з їх червоного зміщення, то в минулому їх існувало набагато більше, ніж тепер. Якщо ж деякі події, що сталися на ранніх етапах існування Всесвіту, зараз відбуваються дуже рідко, то досконалий космологічний принцип, а разом з ним і модель стаціонарного Всесвіту виявляються непридатними.

3. Етапи еволюції Всесвіту

Якщо вважати, що з моменту Великого Вибуху до теперішнього часу минув 1 рік, можна скласти такий календар подій цього року:

Новий Рік, 1 січня, 00h00m00s -	Великий Вибух Тієї ж миті відбулося виникнення Мета-галактики
1 січня	Опівдні утворилися перші атоми
Березень	Утворилися перші галактики
Квітень	Утворилася наша Галактика
Червень	Процес утворення галактик в основному завершився
Вересень	Виникнення Сонця Виникнення Сонячної системи

Жовтень	Виникнення життя (мікроорганізми)
Листопад	Мікробіоти, виникнення фотосинтезу
Грудень, 1–5	Утворення кисневої атмосфери
15	Перші багатоклітинні
20	Виникнення безхребетних
26	Перші динозаври
27	Перші ссавці
28	Перші птахи
29	Вимирання динозаврів
30	Перші примати
31 грудня, 14h	Рамапітек
22h30m	Перші люди
Новий рік 1 січня, 00h00m03s -.	XXI століття

Запитання до учнів у ході викладу нового матеріалу

1. Чи трапляються у Всесвіті переважно поодинокі галактики?
2. Чи є Всесвіт у значному масштабі однорідним?
3. Що таке вік Всесвіту?
4. Скільки можливих варіантів розвитку Всесвіту можна навести відповідно до теорії Фрідмана?
5. У якому стані перебував Всесвіт у момент Великого Вибуху?
6. Людині, що протягом тисяч років спостерігала небо «нерухомих зір», картина світу видавалася вічною, нерухомою. Чи дійсно світ навколо нас такий?
7. Який спостережуваний факт є підтвердженням розширення Всесвіту?
8. Яку структуру має розподіл речовини у Всесвіту?
9. Що є предметом вивчення космології?
10. На якій фізичній теорії базується сучасна космологія?
11. Що мають на увазі, коли говорять про розширення Всесвіту?
12. Чи існує центр розширення Всесвіту?
13. Чому дорівнює вік Всесвіту, вимірюваний земними роками?

14. Назвіть три можливих варіанти розвитку Всесвіту відповідно до теорії Фрідмана.

IV. ЗАКРІПЛЕННЯ НОВОГО МАТЕРІАЛУ

1. Які значення густини речовини й температури в точці сингулярності?
2. У якій ері свого існування Всесвіт перебуває в наш час?
3. Що таке реліктове випромінювання?
4. Статичний Всесвіт, тобто такий, що не розширюється й не стискується, не може реально існувати. Обґрунтуйте це.
5. Сформулюйте, наскільки важливим для долі Всесвіту є те або інше значення параметра середньої густини речовини.
6. Відповідно до теорії Фрідмана можливі три варіанти розвитку Всесвіту. Чи може бути четвертий варіант? Відповідь поясніть.

Що ми дізналися на уроці

- Найважливіший факт, який повинна пояснити будь-яка космологічна модель,— це зміщення довжини хвиль випромінювання далеких галактик (космологічне червоне зміщення).
- Стала Габбла є важливішою величиною, оскільки задає швидкість віддалення галактик або швидкість, з якою розширюється Всесвіт.
- Космологічний принцип постулює, що у великому масштабі, в будь-який час Всесвіт всюди однаковий.
- Теорія Великого Вибуху — одна із космологічних моделей, яка стверджує, що Всесвіт виник понад 18 млрд років тому в результаті величезного вибуху.
- Теорія пульсуючого Всесвіту стверджує, що початок нашого світу — Великий Вибух, але розширення не буде тривати вічно. Гравітація його зупинить.
- Теорія стаціонарного Всесвіту стверджує, що світ не еволюціонує та не змінюється з часом. У минулому, сьогодні та в майбутньому Всесвіт незмінний.

V. ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ

Читати § 28, 29.

Урок 32/V–4

Тема. Спостережні дані про прискорене розширення Всесвіту та його можлива інтерпретація. Співвідношення різних типів матерії у Всесвіті. Темна матерія і темна енергія

Цілі:

- *навчальна:* завершити формування природничо-наукової картини світу, ознайомити учнів з новими досягненнями сучасної астрономії: відкриття прискореного розбігання об'єктів Всесвіту, існування темної енергії й темної матерії;
- *розвивальна:* продовжити формування вмінь пояснювати спостережувану структуру й властивості Всесвіту, космічних об'єктів та їхніх систем на основі найважливіших фізичних теорій; аналізувати й систематизувати інформацію, використовувати узагальнені плани вивчення космічних об'єктів, процесів й явищ, будувати класифікаційні таблиці й схеми й розв'язувати задачі на обчислення міжгалактичних відстаней і характеристик космічних об'єктів;
- *виховна:* формувати науковий світогляд й сприяти усвідомленню учнями природничо-наукової картини миру на основі систематизації знань про матерію, основні напрямки її розвитку, рух, простір, час і їхній взаємозв'язок, «антропний принцип», фундаментальні закони матеріального світу і філософські положення стосовно матеріальної єдності і пізнаваності світу під час викладу астрономічного матеріалу про природу Галактики й позагалактичних об'єктів, Метагалактики, міні-Всесвіту і Всесвіту.
- *Учні повинні знати:* основні ознаки понять Метагалактика, міні-Всесвіт, Всесвіт, сингулярність, явище Великого Вибуху, початкове розширення, утворення елементарних частинок й атомних ядер, рекомбінація, утворення галактик; сучасний стан й можливі шляхи розвитку; основні положення сучасних космологічних теорій: виникнення Міні-Всесвіту й Метагалактики, основні етапи її еволюції.
- *Учні повинні вміти:* формулювати свої висновки щодо будови й еволюції Всесвіту, використовувати знання, отримані на уроках з фізики й астрономії, для опису й пояснення сучасної наукової картини світу; аналізувати й систематизувати навчальний матеріал, будувати класифікаційні таблиці й схеми, пояснювати властивості космічних систем на основі найважливіших фізичних теорій, використовувати узагальнені плани для вивчення космічних об'єктів, процесів й явищ; розв'язувати задачі на обчислення міжгалактичних відстаней і характеристик космічних об'єктів, обґрунтовувати факт прискореного розширення Всесвіту.

Міжпредметні зв'язки: фізика, філософія.

Демонстрації:

- 1) Діаграма співвідношень різних типів матерії у Всесвіті.
- 2) Таблиця-схема основних етапів розвитку Всесвіту.

Технічні засоби навчання, наочне приладдя: мультимедійний проектор, комп'ютер, CD-презентація «Еволюція Всесвіту».

Обладнання: комп'ютер; мультимедійний проектор, екран; презентація «Еволюція Всесвіту».

План заняття

Час	Метод на-вчання	Зміст роботи	Наочне при-ладдя, ТЗН
0,5 хв	Бесіда	Організаційний момент Перевірка готовності учнів до уроку. Стимулюван-ня діяльності учнів, забезпечення їхньої загальної готовності, забезпечення своєчасного й організо-ваного початку уроку	
1 хв	Бесіда	Актуалізація опорних знань	
30 хв	Лекція	Пояснення нового матеріалу 1) Відкриття прискореного розширення Всесвіту. 2) Баріонна речовина, темна матерія і темна енергія	
10 хв	Самостій-на робота	Перевірка знань учнів Робота з тестами	
1 хв		Підбиття підсумків уроку	
		Домашнє завдання Підготувати повідомлення «Життя та розум у Все-світі»	

ХІД УРОКУ

I. ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ МОМЕНТ

II. АКТУАЛІЗАЦІЯ ЗНАНЬ УЧНІВ

1. Який спостережуваний факт є підтвердженням розширення Всесвіту?
2. З якою характеристикою галактик пов'язане явище червоного зміщення ліній у їхніх спектрах?
3. У Всесвіті існує невидима «схована» речовина. Яка це може бути речовина?

III. ПОЯСНЕННЯ НОВОГО МАТЕРІАЛУ

1. Відкриття прискореного розширення Всесвіту

Кінець XX століття ознаменований відкриттям нової фізичної сутності — темної енергії, яка «розпирає» простір між галактиками й спричиняє прискорене розширення Всесвіту. Її природа невідома. Над її розгадкою працюють колективи вчених різних країн світу, формуються програми досліджень, будуються нові телескопи...

Те, що галактики віддаляються одна від одної зі швидкістю, пропорційною до відстані, відомо давно. Це явище ще 1929 року уперше виявив американський астрофізик Едвін Ґаббл. Слід ска-

зати, що це відкриття не було цілковитою несподіванкою — за сім років до цього його передбачив російський математик Олександр Фрідман, застосувавши рівняння загальної теорії відносності Ейнштейна для опису однорідного ізотропного Всесвіту (те, що він і справді є таким у великих масштабах, підтверджено численними спостереженнями пізніше). Із його теоретичних робіт та експериментів Ґаббла випливало, що «розбігання» галактик є результатом Великого Вибуху, який за розрахунками вчених стався 18 мільярдів років тому.

Але оскільки для звичайної речовини діє закон усесвітнього тяжіння (гравітація), то таке розширення має відбуватися із сповільненням: кінетична енергія розлітання галактик витрачається на «долання» сил гравітації (аналогічно до каменя, підкинутого вертикально вгору). Спроби визначити це сповільнення впродовж багатьох років були невдалими. Його значення дало б змогу встановити середню густину матерії, яка заповнює Всесвіт. Проблема полягала в тому, що для цього необхідно спостерігати дуже далекі галактики, блиск яких надто малий, тож виділити в них окремі джерела випромінювання — зорі, їх скупчення, газові туманності тощо — неможливо навіть із допомогою найпотужніших наземних телескопів. Крім того, світло від них іде до нас кілька мільярдів років, через що ми бачимо їх значно молодшими за нашу та сусідні галактики, а отже, джерела випромінювання в них відрізняються за своєю випромінювальною здатністю. Тобто до них не можна застосувати методи визначення відстані, які астрофізики застосовують до близьких галактик.

Ситуація змінилася після виведення на навколосемну орбіту космічного телескопа ім. Ґаббла з діаметром головного дзеркала ~ 2,4 м. Одне з головних завдань, заради якого створювали цей найдорожчий у світі телескоп, — дослідження далеких галактик з метою уточнення закону Ґаббла та визначення прискорення розширення Всесвіту. Результати досліджень, які проводили впродовж майже десяти років дві наукові групи («Співпраця щодо далеких наднових» і «Космологічний проект щодо наднових»), були опубліковані практично одночасно 1998 року. Уже з назв наукових груп видно, що об'єктами досліджень були наднові зорі в далеких галактиках. Наднові Ia є стандартними джерелами світіння. Потужні джерела випромінювання з відомою світністю є надзвичайно цінними для астрономії — вони дають можливість за виміряним потоком енергії на Землі визначати відстань до них, а отже, і до далеких

галактик, у яких вони знаходяться. З допомогою космічного телескопа Габбла, а також наземних телескопів у далеких галактиках на цей час виявили й детально дослідили понад півтори сотні наднових зір цього типу. За встановленими відстанями до них та виміряними зміщеннями ліній у їх спектрах вдалося визначити зміну темпу розширення Всесвіту. Результати виявилися дивовижними: замість очікуваного сповільнення взаємним гравітаційним притяганням вони розбігаються із прискоренням — швидкість віддалення галактик із часом зростає! Чи стало це відкриття цілковитою несподіванкою для теоретиків?

Гіпотези

Слід визнати, що ні. Ще 1917 року Альберт Ейнштейн увів у рівняння загальної теорії відносності, отримані ним 1916 року, сталу величину, яка проявляла себе як сила розштовхування, пропорційна до відстані, що урівнювала гравітаційне притягання звичайної матерії у космологічних масштабах. Її назвали космологічною сталою. Після уведення цієї сталої Ейнштейн прагнув отримати стаціонарну модель однорідного ізотропного Всесвіту, яким тоді собі його уявляли. Властивості світу із космологічною сталою, але без матерії детально проаналізував де Сіттер того ж, 1917 року (модель світу де Сіттера). Олександр Фрідман 1922 року довів, однак, що навіть із космологічною сталою загальний розв'язок рівнянь Ейнштейна є нестаціонарним. Ейнштейн погодився з аргументами Фрідмана і згодом відмовився від космологічної сталої, сказавши, що її введення було найбільшим промахом у його житті. Проте космологічна стала продовжувала «жити», і астрофізики не раз зверталися до неї, аби розв'язати проблеми, які виникали під час інтерпретації даних спостережної космології, і відкидали, коли знаходили прийнятніші пояснення. На початку 80-х модель де Сіттера дала змогу розв'язати безліч проблем, що виникли під час розбудови теорії раннього Всесвіту в рамках моделей Фрідмана. Синтез властивостей світу де Сіттера і квантової теорії поля породив квантову космологію та інфляційну модель раннього Всесвіту — короткочасну стадію швидкого прискореного розширення, яка елегантно розв'язала всі ті проблеми. І зрештою, космологічна стала цілком задовільно пояснює прискорене розширення Всесвіту, яке виявили за надновими зорями. Скидається на те, що «промах» Ейнштейна є насправді геніальним здогадом, який знайшов експериментальне підтвердження через 81 рік! Але намагання досягнути фізичну

сутність космологічної сталої породили низку запитань, відповіді на які можуть бути тим Розетським каменем, який дасть змогу побудувати теорію єдиних взаємодій та походження Всесвіту.

Що ж це за запитання? Космологічна стала є незмінною в часі — її значення сьогодні таке саме, як і в момент Великого вибуху. Але якщо сьогодні густина темної енергії приблизно втричі більша за густину матерії, то на початку Великого вибуху вона була на 120 порядків (!) менша. Тобто в ранню епоху еволюції Всесвіту, коли формувалися фізичні взаємодії, його густина енергії становила $0,000...1$ (120 нулів перед одиницею) від густини енергії інших фізичних полів. Це дуже мала величина, практично нуль. Однак якби перед одиницею було 115 чи 100 нулів, то це призвело б до фатальних наслідків — Всесвіт почав би прискорено розширюватися ще до того, як утворилися галактики, зорі, планети і життя на них. Зростаючий темп розлітання не дав би їм сформуватися. З іншого боку, якщо інтерпретувати космологічну сталу як властивість вакууму (енергія його основного стану), то з'являються розбіжності із квантовою електродинамікою, яка сьогодні є чи не найточніше експериментально перевіреним розділом фізики.

2. Баріонна речовина, темна матерія і темна енергія

Сучасна фізична космологія дає такий розподіл складників нашого Всесвіту: темна енергія — 74 %, темна матерія — 22 %, баріонна речовина — 4 %.

Баріонна речовина — це всі хімічні елементи, які входять до складу зір, планет, галактик та розсіяні в міжзоряному та міжгалактичному просторі. Одна з її важливих властивостей — участь в електромагнітній взаємодії: вона поглинає, випромінює та розсіює електромагнітне випромінювання. Завдяки саме цій властивості наш світ такий багатий на різноманіття проявів живої та неживої природи на Землі і в космосі. Уся практична діяльність людства та астрофізичні дослідження до цього часу мали справу тільки з баріонною речовиною, яка, подібно до надводної частини айсберга, становить усього кілька відсотків від усього «майна» Всесвіту.

Про темну матерію дещо вже можна сказати. Своїм гравітаційним полем вона утримує галактики в скупченнях і зорі в галактиках від розпадання. Темна матерія не випромінює, не поглинає і не розсіює електромагнітного випромінювання. Неоднорідності темної матерії своїм гравітаційним полем стягували на себе баріонну речовину, у згустках якої сформувалися зорі, галактики, скупчення галактик. Які частинки є носіями темної матерії, поки невідомо.

Із темною енергією, яка домінує за густиною, ситуація складніша. Вона проявляє себе тільки на космологічних відстанях протилежним знаком гравітаційної дії. Це справді нова сутність, не подібна до всього того, із чим мали справу до цього часу фізики та астрономи в царині зір і галактик.

Це — новий тип фізичного поля, яке однорідно заповнює наш Всесвіт і розпирає простір. Сьогодні його густина енергії є вищою за середню густину енергії всіх інших полів і частинок. Поле створює великий від'ємний тиск, що й зумовлює спостережуване прискорене розширення Всесвіту в космологічних масштабах (сила розштовхування пропорційна відстані між галактиками). У минулому його густина енергії могла бути близькою до густини енергії інших фізичних полів або щезати цілком залежно від моделі такого поля. Встановити його природу — на сьогодні чи не найзахопливіша задача фізики та астрономії.

Чи є інші докази існування темної енергії?

Це відкриття дістало незалежне підтвердження в кількох експериментах із дослідження реліктового випромінювання. Найбільш переконливі дані отримано в космічному експерименті WMAP у 2003 та 2007 рр. На їхній основі розроблено детальну карту неба просторових неоднорідностей температури і густини речовини в ранню епоху еволюції Всесвіту. Зіставлення її із просторовим розподілом галактик у сучасну епоху вказує на те, що густина темної енергії переважає сумарну густину енергії всіх інших складників Всесвіту. Опубліковані 2011 року результати неперервних трирічних вимірювань просторових варіацій температури реліктового випромінювання за допомогою телескопа WMAP стали найґрунтовнішим доказом існування темної енергії. Вони дають найточніше визначення її густини та параметра рівняння стану.

Перспективи

Дослідження природи темної енергії у наш час розвиваються надзвичайно бурхливо. Наукові фонди Європи та Америки фінансують ці дослідження як найбільш пріоритетні, оскільки їхні результати важливі як для теорії еволюції зір, галактик і Всесвіту загалом, так і для теорії елементарних частинок та фундаментальних взаємодій. Упродовж наступних десяти років планується ввести в дію кілька телескопів нового покоління, за допомогою яких точність визначення рівняння стану темної енергії буде доведено до одного відсотка (сьогодні вона становить близько 20 %). В Укра-

їні такі дослідження проводять невеликі наукові групи в кількох національних класичних університетах Міністерства освіти і науки (Одеському, Львівському, Харківському, Дніпропетровському), Київському національному університеті ім. Т. Шевченка, Національному університеті «Киево-Могилянська академія» та наукових установах Національної академії наук (Головна астрономічна обсерваторія, Інститут теоретичної фізики, Інститут ядерних досліджень, Радіоастрономічний інститут, Інститут прикладних проблем механіки і математики). Для об'єднання їхніх зусиль та координації досліджень 2005 року запроваджено «Міжгалузевий координаційний план досліджень у галузі гравітації, релятивістської астрофізики та космології — космомікрофізика» (голова наукової ради академік А. Загородній). У січні 2007 року на спільному засіданні президії Національної академії наук України та колегії Національного космічного агентства України за поданням академіка Я. Яцківа прийнято до виконання цільову програму наукових досліджень НАНУ «Дослідження структури та складу Всесвіту, прихованої маси і темної енергії», виділено кошти на її реалізацію. Керівник цієї програми — академік В. Шульга. Крім виконання різноманітних досліджень уже існуючими групами, програма передбачає підготовку і залучення молодих учених, видання наукової, навчальної та науково-популярної літератури. Таким чином, є підстави сподіватися, що здобутки українських учених у цій галузі не тільки цитуватимуться в ретроспективних оглядах розвитку проблеми, а й перебуватимуть на передньому краї науки, примножуючи наші знання про найфундаментальніші властивості світу, у якому ми живемо.

Запитання до учнів у ході викладу нового матеріалу

1. Скільки можливих варіантів розвитку Всесвіту можна навести відповідно до теорії Фрідмана?
2. У якому стані перебував Всесвіт у момент Великого Вибуху?
3. Людині, що протягом тисяч років спостерігала небо «нерухомих зір», картина світу видавалася вічною та нерухомою. Чи дійсно світ навколо нас такий?
4. Який спостережуваний факт є підтвердженням розширення Всесвіту?
5. Яку структуру має розподіл речовини у Всесвіту?
6. На якій фізичній теорії базується сучасна космологія?
7. Що мають на увазі, коли говорять про розширення Всесвіту?

8. Чи існує центр розширення Всесвіту?
9. Чому дорівнює вік Всесвіту, вимірюваний земними роками?
10. Назвіть три можливі варіанти розвитку Всесвіту відповідно до теорії Фрідмана.

IV. ЗАКРІПЛЕННЯ НОВОГО МАТЕРІАЛУ

Відповідно до теорії Фрідмана можливі три варіанти розвитку Всесвіту. Чи може бути четвертий варіант? Відповідь поясніть.

Що ми дізналися на уроці

- Розподіл складників нашого Всесвіту: темна енергія — 73 %, темна матерія — 22 %, баріонна речовина — 4 %.
- Баріонна речовина — це всі хімічні елементи, які входять до складу зір, планет, галактик та розсіяні в міжзоряному та міжгалактичному просторі.
- Темна матерія своїм гравітаційним полем утримує галактики в скупченнях і зорі в галактиках від розпадань. Темна матерія не випромінює, не поглинає і не розсіює електромагнітного випромінювання. Її частинки мають малі теплові швидкості (холодна темна матерія), беруть участь тільки у гравітаційній взаємодії та, можливо, слабкі, як нейтрино.

V. ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ

Підготувати повідомлення «Життя та розум у Всесвіті».

Урок 33–34/V–5, 6

Тема. Історичний огляд пошуків позаземного життя. Сучасні наукові дані про існування позаземного життя. Антропний принцип. Ідея існування інших всесвітів

Цілі:

- *навчальна:* сформувати поняття про умови виникнення й розвитку життя й розуму на Землі й у Всесвіті, узагальнити та повторити навчальний матеріал з астрономії, хімії, фізики, біології, зокрема основні фізичні характеристики Сонця і зір, планетних систем, фізичні характеристики, атмосферу й умови на поверхні Землі, сонячно-земні зв'язки, діапазони електромагнітного випромінювання та його біологічну дію; поняття «життя» й «розум», основні гіпотези про походження життя й людини, сформувати поняття про позаземні цивілізації і способи здійснення й особливості контакту з ними;
- *розвивальна:* удосконалити вміння працювати з науково-популярною й довідковою літературою, готувати доповіді, виступати, дискутувати, відстоювати свою позицію;
- *виховна:* продовжити формування наукового світогляду в ході обговорення матеріалу про умови виникнення й розвитку життя й розуму на Землі й у Всесвіті як закономірного етапу розвитку матерії.

Нові поняття:

- *Учні повинні знати:* поняття антропного принципу, гіпотези щодо виникнення життя на Землі; фізико-хімічні характеристики зовнішнього середовища, у якому можливе виникнення й розвиток живих організмів; основні гіпотези про походження життя на Землі й можливості його існування на інших планетах Всесвіту; основні гіпотези про походження людини й можливості існування позаземних цивілізацій.
- *Учні повинні вміти:* характеризувати імовірність існування життя на планетах Сонячної системи з точки зору сучасної науки; описувати екзопланети як потенційні носії життя; пояснювати суть антропного принципу та обґрунтовувати ідею існування інших всесвітів, доводити природність походження життя й розуму на Землі, ґрунтуючись на сукупності своїх знань з астрономії, фізики, хімії й біології.

Міжпредметні зв'язки: біологія, хімія, фізика, філософія, математична статистика.

Демонстрації:

- 1) Зображення радіотелескопів, які використовували для пошуків радіосигналів позаземних цивілізацій.
- 2) Зображення космічних апаратів за допомогою яких здійснювали чи здійснюють пошук життя поза межами Землі.
- 3) Презентація «Життя і розум у Всесвіті».

Технічні засоби навчання, наочне приладдя: мультимедійний проектор, комп'ютер, CD-презентація «Життя і розум у Всесвіті».

Обладнання: комп'ютер; мультимедійний проектор, екран; презентація «Життя і розум у Всесвіті»

План заняття (I варіант)

Час	Метод навчання	Зміст роботи	Наочне приладдя, ТЗН
0,5 хв	Бесіда	Організаційний момент Перевірка готовності учнів до уроку. Стимулювання діяльності учнів, забезпечення їхньої загальної готовності, забезпечення своєчасного й організованого початку уроку.	
2 хв.	Бесіда	Мотивація навчальної діяльності Обговорення актуальності питання життя поза Землею Проблема пояснення походження життя на Землі є однією з 7 глобальних проблем людства. Можливість існування життя на інших планетах цікавить не тільки вчених, але й широкі маси населення нашої планети	
43 хв + 43 хв	Урок-конференція	Пояснення нового матеріалу 1) Визначення поняття «життя», ознайомлення з теоріями походження життя. 2) Визначення умов для існування життя в Сонячній системі та інших планетних системах. Визначення поняття «розум». Ознайомлення з теоріями походження людства. Обговорення можливості існування позаземних цивілізацій, їх пошуку та встановлення контактів з ПЦ	
2 хв		Підбиття підсумків уроку	

ХІД УРОКУ

I. ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ МОМЕНТ

II. МОТИВАЦІЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

*«Наш разум — верх ли мирозданья, низ ли?» —
Гипотезы пока что ни к чему
Не привели —
Над пропастью повисли
Сигналы наших братьев по уму.*

*Навстречу инопланетянам вышли
Все телескопы — на контакт, во тьму
Спешат, не допуская даже мысли
О том, что не готовы мы к нему,*

*О том, что мы давно уже не дети,
Чтоб спорить с небом о «приоритете» —*

*Важнее доказать себе самим,
Что мы контакта с космосом достойны,
Что самобытны и чисты настоль мы,
Что разум наш иным не заменим.*

Існування життя поза Землею, особливо життя розумного, з давніх часів є одним з питань, які бентежать людський розум. Уже постановка такої складної проблеми, як походження життя і його поширеності у Всесвіті, стимулювала розвиток усіх природничих наук. Фізика і хімія забезпечувала вчених дедалі більш досконалими методами вивчення стану, будови і властивостей живої і неживої речовини. Біологія, вивчаючи різні форми життя, визначала умови, за яких можуть виникати, існувати і розвиватися живі організми. Астрономія, одержуючи відомості про природу небесних тіл і тих явищ, які відбуваються на них, надавала можливість виявити ті чи інші прояви життя, у тому числі розумного за межами Землі. Історія пошуків життя поза Землею сповнена драматичних подій і гірких розчарувань. Думки про те, що наша планета не є єдиним населеним світом у безмежному просторі Всесвіту, висловлювалися ще до нашої ери, коли існувала єдина наука — філософія. Ідею множинності населених світів поділяло багато видатних вчених XVII–XIX ст. І сьогодні ми спробуємо відкрити завісу над питанням «Чи самотні ми у Всесвіті?».

III. УРОК-КОНФЕРЕНЦІЯ

Учні заздалегідь готують повідомлення.

Теми рекомендованих доповідей і повідомлень:

1. «Що таке життя?» — доповідь із подальшою короткою дискусією.
2. Теорії про походження життя на Землі — доповідь, 2–3 повідомлення.
3. «Де шукати життя у Всесвіті?» — доповідь, 2–3 повідомлення.
4. «Чи є життя на Марсі?» й «Чи є життя на Європі?» — доповіді.
5. Космічно-земні зв'язки — доповідь, повідомлення. Оскільки даний матеріал досить складний і неоднозначний, його опрацювання варто доручити найбільш здібним і зацікавленим учням.

На початку заняття, порушуючи перед класом проблему, вчитель акцентує увагу учнів на важливості розв'язання питання про походження життя на Землі й можливість його існування на інших планетах Сонячної системи й інших зорях Всесвіту.

Перший учень, що виступає з доповіддю «Що таке життя?», робить спробу визначити поняття «життя», що належить до фундамен-

тальних, категоріальних наукових понять. Слід зазначити, що в науці й дотепер немає його однозначного загальноприйнятого визначення. Робота над поняттям «життя» у ході подальшої дискусії, що моделює роботу наукового семінару, свідчить про складність обговорюваного питання, формує в учнів уявлення про те, на які групи й чому діляться всі наукові поняття, допомагає виробити особисту позицію, визначати поняття, відстоювати свої погляди. Учні повинні зрозуміти, що для серйозного обговорення будь-якої проблеми потрібно домовитися про використання відповідної термінології, а для цього необхідно визначити всі використовувані поняття.

Далі учні ознайомлюють усіх із основними гіпотезами про походження життя на Землі, які можна розділити на 3 групи:

- 1) релігійна гіпотеза про «божественне» походження життя;
- 2) «панспермія» — життя виникло в космосі й потім було занесене на Землю;
- 3) життя виникло на Землі в результаті природних процесів.

Необхідно проводити обговорення гіпотез, під час якого вчитель виконує подвійну роль: «адвоката диявола», що звертає уваги на слабкі сторони кожної гіпотези, й судді, що стежить за коректністю дискусії й дотримує впродовж обговорення всіх висловлюваних припущень строгого нейтралітету. Учні мають дійти висновку, що, попри невизначеність щодо питання про походження життя на Землі, не викликає сумніву факт природності його походження як певного закономірного етапу розвитку матерії.

Далі в ході бесіди (5–7 хв) учні визначають умови, за яких може існувати життя білкового типу. Обговорюються розміри й інші параметри «зони життя» у Сонячній системі й у позасонячних планетних системах, пов'язані із характеристиками їхніх центральних зір.

Заняття продовжують виступи учнів з доповідями «Чи є життя на Марсі?» й «Чи є життя на Європі?», після чого йде коротке обговорення почутого.

Завершує заняття бесіда про вплив космічних факторів на існування й розвиток життя на Землі, з-поміж яких виділяють: гравітаційно-приливний вплив Місяця; сонячна активність, версії геомагнітного поля, опромінення поверхні Землі ультрафіолетовим випромінюванням і космічними променями; стан озонового шару атмосфери й «парниковий ефект» у ній; зіткнення планети з ядрами комет й астероїдами. Особливу увагу звертають на сонячно-земні зв'язки.

ДОВІДКОВИЙ МАТЕРІАЛ З ПИТАНЬ УРОКУ-СЕМІНАРУ

Що таке життя?

Існує багато визначень поняття «життя» — настільки ж складного, багатогранного й неоднозначного, як поняття «Всесвіт», «матерія» й «розум», безмежно широкого, такого, що відбиває найзагальніші ознаки дійсності, категорії, що визначається через основні характеристики й властивості.

Енциклопедичний словник дає досить неоднозначне визначення: «Живими називаються системи, які здатні самостійно підтримувати й збільшувати свій дуже високий ступінь упорядкованості в середовищі з меншим ступенем упорядкованості». Згідно з ним, живими є всі системи, що самоорганізуються й саморегулюються, — зорі, галактики й власне Метагалактика, коацерватні краплі й багато складних органічних сполук, самопроектувальні й самозбірні кібернетичні пристрої тощо. Пропозиція академіка С. Ф. Лихачова розглядати життя як певну невизначену властивість Всесвіту в плані практичного використання поняття нічого не дає.

Не втратило своєї актуальності й уточнене в XX столітті визначення Ф. Енгельса: «Життя — це спосіб існування білкових тіл і нуклеїнових кислот». Поза живими організмами білки в природі не зустрічаються, хоча складні органічні сполуки були виявлені у 80-ті рр. XX ст. у складі ГМО.

За визначенням академіка О. А. Ляпунова: «Життя — високостійкий стан речовини, що використовує для вироблення зберезувальних реакцій інформацію, кодовану станами окремих молекул». Його уточнив професор І. С. Шкловський: «Жива речовина — складний молекулярний агрегат, у якому є «керувальна система», що включає в себе механізм передання спадкоємної інформації, яка забезпечує зберезувальні реакції наступним поколінням».

Найкращим слід визнати визначення Н. В. Волькенштейна: «Живі тіла, що існують на Землі, являють собою відкриті, самоорганізувальні й самовідтворювальні системи, побудовані з біополімерів — білків і нуклеїнових кислот».

«Розум є здатність матерії пізнавати самого себе — фундаментальні закони природи й різні сутності»; або: «Розум — це здатність живої матерії для обміну інформацією із зовнішнім середовищем, кодованою поняттями» (В. С. Троїцький). Клітини кори головного мозку (нервові клітини) мають найвищу на Землі складність орга-

нізації. Носієм розуму у Всесвіті може бути тільки жива й високо-організована матерія.

Виникнення й розвиток життя й розуму на Землі підготовлено всім ходом еволюції неживої матерії Метагалактики.

Закономірність і неминучість виникнення й розвитку життя й розуму характеризується однією з найважливіших властивостей Метагалактики — антропним принципом. Існування й розвиток об'єктів Метагалактики обумовлено внутрішніми динамічними процесами. Усі об'єкти, що виникають, — від космічних порошин і туманностей, бактерій і людей, зір, галактик й, очевидно, всієї Метагалактики загалом — є відкритими нерівноважними системами, що обмінюються з навколишнім середовищем речовиною й енергією. У ході еволюції виникає здатність до відтворення подібних об'єктів і засвоєння ними набутих ознак і властивостей. Чим більше ускладнюється структура упорядкованих систем, тим дедалі більше підвищується їхня здатність до накопичення, запам'ятовування й зберігання інформації. Інформаційна еволюція прискорює темпи самоорганізації матерії і йде в напрямі зменшення можливих наборів елементів, що визначають структуру й функціонування складних систем. Набори з найменшим числом елементів легше відновлюються, передаються й тиражуються.

Для атомів число можливих комбінацій протонів і нейтронів в атомних ядрах дорівнює числу ізотопів (понад 1500).

Для молекул можливе число наборів атомів дорівнює кількості елементів таблиці Менделєєва (близько 100).

Для полімерів у розчинах — числу 5 просторових конфігурацій.

Для живих організмів — кількості нуклеотидів у ДНК і РНК.

Подальше ускладнення структур визначає також рівень залежності їхнього існування й розвитку від фізичних і хімічних властивостей середовища й незмінності зовнішніх умов.

Наприклад, температурні границі існування об'єктів:

- атомів — від 0,5–1 К до 10^5 К (температура іонізації);
- молекул — від 2–3 К до 10^4 К (температура дисоціації);
- твердотільних кластерів (об'єктів, що містять мінімальне число атомів для прояву всіх макроскопічних властивостей даної речовини) — від 10–15 К до $5 \cdot 10^3$ К;
- мікроорганізмів — від 100 до 700 К;
- людини — від 308 до 312 К.

Усе вищесказане визначає умови, необхідні й достатні для прояву й розвитку життя, можливий час його виникнення в Метага-

лактиці й на Землі, основні темпи й напрями еволюції живих організмів.

За часів ранньої епохи існування Метагалактики аж до утворення галактик життя не могло існувати через абсолютно невідповідні зовнішні умови. Не могло воно виникнути й поблизу зір І покоління, які, швидше за все, не мають планетних систем через 10–40-кратний дефіцит важких хімічних елементів.

Для утворення космічних тіл сучасного хімічного складу і співвідношення ізотопів важких елементів їхній синтез мав би відбутися за 4–6 мільярдів років до утворення Сонячної системи, тобто не пізніше ніж 9–11 мільярдів років тому. Утворення важких елементів було особливо інтенсивним у період формування основних галактичних структур; у нашому районі Галактики період інтенсивного зореутворення завершився до моменту утворення Сонячної системи.

Хімічні умови виникнення й розвитку життя визначаються складом її молекулярних основ. Нуклеїнові кислоти ДНК і РНК побудовані з нуклеотидів, що складаються, у свою чергу, із цукру, азотистих основ і фосфату; білки складаються з амінокислот. Уся хімічна розмаїтість життя на Землі вичерпується 28 речовинами: 20 видів амінокислот, 5 основ, 2 вуглеводів й 1 фосфат. Їхній елементарний хімічний склад визначається співвідношенням водню (37,5 %), вуглецю (29,8 %), кисню (18,3 %), азоту (11,3 %), фосфору (3,1 %).

Водень — найпоширеніший хімічний елемент, вуглець, кисень й азот — найпоширеніші з важких хімічних елементів, здатні утворювати величезну кількість складних і відносно стабільних молекул (завдяки наявності хімічно інертних сполук вуглецю).

Кисень — активний окиснювач, його сполука з воднем H_2O вода — надзвичайно поширений універсальний біологічний хімічний розчинник, що залишається в рідкому стані в широкому діапазоні температур, має високу діелектричну проникність й теплоємність.

Хімічні умови існування життя висувують ряд додаткових вимог до фізичних характеристик об'єктів, завдяки яким вони могли б реалізуватися.

Хімічний склад об'єкта має допускати наявність гідросфери й атмосфери прийнятної сполуки, що складається з газів, які сприяють виникненню й розвитку живих організмів і підтримують необхідний енергетичний режим (температури й енергетичної

освітленості) без різких (критичних) коливань вищезгаданих умов і тиску. Наприклад, вуглекислий газ в атмосфері Землі є не тільки основною сировиною для фотосинтезу, але й найважливішим інструментом для підтримки температури атмосфери з оптимальною концентрацією 0,03–0,04 %.

Маса об'єкта повинна забезпечувати силу ваги, достатню для утримання постійної атмосфери достатньої густини біля поверхні космічного тіла без переходу атмосферних газів в інші агрегатні стани.

Орбіта космічного тіла повинна лежати в межах «зони життя» даної планетної системи, що забезпечує достатню енергетичну освітленість поверхні в прийнятному діапазоні довжин хвиль, і мати малий ексцентриситет, щоби уникати різких коливань зовнішніх умов на поверхні тіла. Об'єкт має обертатися навколо своєї осі зі швидкістю, достатньою для встановлення атмосферної й гідросферної циркуляції й деякого усереднення фізичних умов на поверхні.

Усі перераховані вище умови задовольняють планетні тіла (планетоїди й планети земної групи) масою від 0,1 до $10 M_{\odot}$, що входять до складу планетних систем одиночних, повільнообертючих зір головної послідовності II-го і наступних поколінь спектральних класів F5–K5, які відзначаються сталістю світності.

Число планетних тіл Галактики зі сприятливими умовами для існування життя визначають за формулою:

$$N = N^* \cdot f_n \cdot n_e,$$

де N^* — загальне число зір Галактики (близько $2 \cdot 10^9$); f_n — частка зір, що мають планетні системи (усі одиночні повільнообертючі зорі, від 20 до 60 % зір); n_e — частка зір, поблизу які можуть бути сприятливі для життя умови (для зір класів F5–K5 близько 0,01–0,02).

Якщо в кожній із вищевказаних планетних систем «населена» лише одна планета, то в цей час у Галактиці може бути від 40 до 240 мільйонів планет, на яких існує життя. Навіть якщо з якихось причин ймовірність виникнення життя в сотні й тисячі разів менше, у Галактиці зараз повинні бути сотні тисяч і мільйони населених планетних тіл.

Для Галактики це дуже маленька величина. Так, на відстані до 5 парсек (16,3 св. року) від Сонця налічується 53 зорі, з яких лише 3 — ε Еридана, τ Кита й ε Індіанця — задовольняють вищезгаданим умовам; однак в ε Еридана планетна система перебуває в стадії формування.

На сьогодні у наукових лабораторіях докладно досліджені й відтворені перші етапи еволюції від «неживої» до «живої» матерії:

1. Еволюція малих молекул (CH_4 , H_2O , NH_3 , CO тощо).
2. Утворення полімерів.
3. Виникнення каталітичних функцій.

Ведуться дослідження наступного етапу еволюції — самозбирання молекул-гіперциклів, виникнення біологічних мономерів (амінокислот, азотистих основ і т. ін.) і біополімерів; накопичені певні відомості щодо наступного етапу — виникнення мембран і доклітинної організації. На жаль, досить далекі від остаточного пояснення два найважливіших заключних етапи перетворення «неживого» на «живе» — виникнення механізму спадковості й утворення клітини.

Значний інтерес викликає розв'язання таких проблем:

- Чому всі білкові сполуки в складі живої речовини мають ліву симетрію?
- Однократно чи неодноразово виникало життя на Землі і чи було її виникнення глобальним або ж локальним явищем?
- Чому життя на Землі не виникає з неживого в цей час?
- Чому в усіх живих істот на Землі білки будуються тільки з 20 амінокислот, яких у науці відомо понад 100?
- Чи може виникнути життя за інших умов, на принципово іншій хімічній основі?

Основою життя в Метагалактиці можуть бути:

- 1) поширені хімічні елементи IV–VI груп таблиці Менделєєва (вуглець, кремній, кисень, фтор, азот, фосфор, сірка й т. ін.), здатні утворювати складні молекулярні ланцюжки, що виконують функції органічних молекул;
- 2) хімічні сполуки (вода H_2O , аміак NH_3 , суміш води з аміаком, сірководень H_2S , синільна кислота HCN , фтористий водень HF тощо), що мають властивість бути одночасно кислотою й основою: вони здатні стати біологічними розчинниками. Водневий зв'язок визначає структуру білків, нуклеїнових кислот й інших органічних сполук та їхніх можливих аналогів.

«Аміачне» життя є другим за ймовірністю поширеності після земного, заснованого на сполуках вуглецю й води. Аміак має досить високі теплоту плавлення, пароутворення й теплоємність, залишається рідким у діапазоні температур від $-77,7^\circ\text{C}$ до $-33,4^\circ\text{C}$ за нормального тиску; у разі зростання тиску температура кипіння збільшується (до $+132,4^\circ\text{C}$ при $p = 112$ атм). Океани й моря з рід-

кого аміаку (або суміші аміаку з водою й гідроксиламіном NH_2OH) будуть так само ефективно пом'якшувати коливання температури, як гідросфера Землі. Аміак має деякі біологічні переваги перед водою (більша текучість, здатність розчиняти органічні сполуки тощо). «Аміачне» життя може процвітати на відносно холодних планетах земної групи й планетоїдах із густими атмосферами.

Менш імовірне життя на поверхні невеликих планет з атмосферами з дициану C_2N_2 і гідросферами із ціанистоводневої (синильної) кислоти HCN ($t_{\text{замерз}} = -13,4^\circ\text{C}$, $t_{\text{кип}} = +25,6^\circ\text{C}$ за $p = 1$ атм).

У густих атмосферах планет-гігантів в умовах низьких температур (від -100°C до -50°C) може виникнути сірководневе життя. Життя може з'явитися й на поверхні планетних тіл із густими атмосферами із суміші газів CS_2 , COS , CH_4 , N_2 , Ar і гідросферами із сірчистого ангідриду SO_2 ($t_{\text{замерз}} = -75,5^\circ\text{C}$, $t_{\text{кип}} = -10,2^\circ\text{C}$ за $p = 1$ атм).

Кремній може успішно замінити вуглець і бути ланцюгоутворювальним елементом органічних систем, молекули яких засновані на зв'язках $\text{Si} - \text{O} - \text{Si}$ або $\text{Si} - \text{N} - \text{Si}$. «Кремнієве» життя може трапитися на планетах, що мають дуже густі гарячі ($T = 300^\circ\text{C}$) атмосфери й обертаються на незначній відстані навколо масивних гарячих зір.

Фтор — досить рідкісний хімічний елемент, але життя на його основі могло б існувати на планетах земної групи з атмосферами, що містять вільний F_2 як аналог кисню, і океанами із фтористого водню HF ($t_{\text{зам}} = -83,1^\circ\text{C}$, $t_{\text{кип}} = +19,5^\circ\text{C}$ за $p = 1$ атм), що обертаються на великій відстані навколо високотемпературних зір з максимумом енергетичної світності в УФ-діапазоні.

В. С. Троїцький висунув гіпотезу про однократне одночасне виникнення життя як закономірного етапу еволюції Метагалактики (Всесвіту) близько 4–5 млрд років тому скрізь, де виникли відповідні умови для появи й розвитку живих організмів.

Ідея панспермії

Деякі вчені вважають, що життя виникло не на Землі, а було занесене на неї з космічного простору у вигляді спор мікроорганізмів розмірами 0,2–0,6 мкм. Ідея панспермії була висунута 1907 року С. Арреніусом і була підтримана такими великими вченими, як Е. Хойл, Ч. Вікрамсинх, У. Крік, С. Ортель, К. Саган.

У складі планетарних і дифузійних газопилових туманностей і глобул виявлені складні органічні сполуки. Під час проходжен-

ня Сонячної системи через ГМО в спіральних рукавах на поверхню Землі може випадати до 10^{14} органічних молекул на м^2 . На користь вищезгаданої гіпотези свідчать: універсальність генетичного коду всіх земних організмів і важливість ролі молібдену в живій клітині, до речі, набагато рідкіснішого на Землі, ніж хром і нікель, які могли б виконувати ті самі функції.

Стійкі до ультрафіолетового опромінення й космічної радіації спори дійсно могли б подорожувати між зір, але для того щоб за мільярд років Земля одержала 1 спору, всі інші зорі Галактики повинні були б мати планети, що викидають у той же строк у космос близько 1 тонни спор.

Місцем виникнення й розвитку життя вважали комети й кам'яні метеорити — вуглисті хондрити, що містять складні органічні речовини, у тому числі амінокислоти (у складі метеоритів Мерчисон виявив 18 різновидів амінокислот), які не трапляються на Землі. Численні дані свідчать про достатню кількість на поверхні Землі в епоху її формування органічних сполук.

Бактерії здатні розмножуватися за екстремальних умов — за температур від -25°C до 300°C і тиску до $1,3 \cdot 10^8$. Вони зберігають життєздатність у вигляді спор навіть за температур від -240°C до 600°C і тиску від 10^4 – 10^6 до $2 \cdot 10^9$ Па, опромінення ультрафіолетовим випромінюванням інтенсивністю до $5 \cdot 10^4$ ерг/мм² і жорсткої радіації потужністю до 10^4 Гр. Колонії бактерій (*E. coli*) на борту АМС «Сервейєр» змогли вижити протягом року на поверхні Місяця і ще жили понад 5 років, перебуваючи на відкритій панелі ШСЗ. У викопних льодах Арктики й Антарктиди виявлені спори мікроорганізмів (до 10^7 клітин на грам), що перебувають у стані анабіозу дець від 20–40 тисяч років до 8 мільйонів років! Деякі вчені вважають, що в багатьох виявлених популяцій мікроорганізмів в умовах вічної мерзлоти метаболізм украй сповільнюється, але не зупиняється. Така життєздатність обумовлена нерозривністю зв'язку популяцій організмів із середовищем перебування.

Окремі групи земних мікроорганізмів, примітивних грибів, дріжджів і водоростей можуть не тільки вижити, але й розмножуватися в умовах, що існують у кріосфері й на поверхні Марса або в океанах Європи.

І все-таки, незважаючи на космічну поширеність органічних речовин, гіпотеза панспермії дотепер не одержала матеріального підтвердження, хоча преса неодноразово тиражувала сенсації про виявлення в метеоритах скам'янілостей мікроорганізмів.

Головним недоліком цієї гіпотези є те, що перенесення місця виникнення земного життя з поверхні Землі в глибини Всесвіту не розв'язує питання про походження життя з неживої матерії.

Еволюція живих організмів

Еволюція живих організмів від найпростіших форм до розумних істот охоплює, очевидно, кілька мільярдів років (на Землі 3,5 млрд років). Рушійною силою еволюції є мутації й природний відбір — процеси, що є статистичними по суті й обумовлені плавними повільними змінами умов існування організмів (складом, густиною й температурою атмосфери й гідросфери, кліматом, рельєфом, магнітним полем планети, спектральним складом й рівнем освітленості поверхні й т. ін.), що є наслідком так само незначних змін у дії космічних факторів у сполученні із дрібними, періодичними й безладними коливаннями ряду основних характеристик зовнішнього середовища.

За всю історію існування Землі на ній проживало понад 500 млрд видів живих істот. У цей час на Землі налічується близько 2 млн видів тварин, з них 75 % — комахи. Ссавців усього існує 3500 видів, з них 2500 видів — гризуни.

Сумарна маса живої речовини на Землі складає на континентах 2420 млрд тонн, з них 99,2 % — рослини; в океанах 3,2 млрд тонн, рослин усього — 6,8 %.

...Мавпоподібний предок людини — австралопітек афаренсис (ріст 1,5 м, вага до 70 кг, об'єм мозку 500–600 м³) — з'явився на Землі 4,2–3,8 млн років тому. Австралопітеки вміли користуватися деякими примітивними кам'яними знаряддями.

3,0–2,8 млн років тому на Землі з'явилася людина вміла (хомо хабіліс). 2,6 млн років тому наші далекі предки перейшли до постійного цілеспрямованого виготовлення кам'яних знарядь праці. Почалася епоха, названа давнім кам'яним віком — палеолітом.

Людина випрямлена почала систематично користуватися вогнем 1,65–1,3 млн років тому.

Найдавніший вид людини розумної з'явився на планеті близько 300 тис. років тому.

125 тис. років тому на Землі з'явилася людина розумна — неандерталець.

Сучасний вид *Homo sapiens* почав заселяти Землю близько 50 тис. років тому.

Ряд учених пов'язує появу нових видів розумних істот (та інших видів живих організмів) на Землі із різкими змінами (інверсі-

ями) магнітосфери: зменшення напруженості магнітного поля веде до зростання опромінення земної поверхні зарядженими частинками сонячного вітру й космічних променів. 4,2–3,8 млн років тому магнітні полюси 4 рази помінялися місцями; 3,2–2,8 млн років тому відбулися ще 4 інверсії; остання велика зміна магнітного поля відбулася близько 40 тис. років тому й збіглася за часом з появою кроманьйонців і вимиранням неандертальців.

Існує також гіпотеза про виникнення предків людини близько 5,5 млн років тому в результаті мутацій, спричинених посиленням радіації в місцях роботи «природних ядерних реакторів». Так, від 20 до 10 млн років тому стривало формування Великого Африканського рифа, внаслідок чого у районі ланцюга Великих Африканських озер у глинистих лінзах Окло (завдовжки до 0,5 км і завтовшки до 10 м) концентрація урану підвищилася від 0,5 до 40 %, а всередині них, відповідно, почали відбуватися ланцюгові ядерні реакції.

Протягом тисячоліть поліпшувалися якість виготовлення знарядь праці, спостерігався ріст продуктивності й умов життя.

Близько 2 млн років тому на Землі проживало майже 125 тис. осіб, 300 тис. років тому — до 1 мільйона осіб; середня тривалість життя становила 28 років.

40 % неандертальців умирало у віці до 14 років; 15 % — від 15 до 20 років; ще 40 % не доживало до 40 років і лише 3 % щастило дожити до 60 років.

25 тис. років тому назад на Землі жило близько 3340 тис. людей, середня тривалість життя яких складала 32 роки; до 40 років доживало лише 11,8 % людей.

6 тис. років тому на Землі жило вже 86,5 млн людей; середня тривалість життя зросла до 36 років, але до 80 років не доживав ніхто.

На сьогодні відомі найбільш ранні зразки печерного живопису віком 40–35 тис. років. Перші місячні календарі були створені близько 32 тис. років тому. Кераміку люди почали використовувати 25 тис. років тому.

14 тис. років тому почалася епоха мезоліту — середнього кам'яного віку. Люди винайшли лук і стріли, приручили собаку; 10 тис. років тому почали використовувати глиняний посуд.

Перехід від полювання й збирання рослин — привласнювального способу ведення господарства до виробничого — скотарства й землеробства — було названо неолітичною революцією, й відбув-

ся він близько 12–11 тис. років тому. Було зведено перші міста, одомашнені деякі породи великої худоби (в X–VIII тисячоріччях одомашнили вівцю й козу; у VII тисячоріччі — корову; у VI тисячоріччі у Південному Приураллі — коня).

7 тис. років тому землеробство стало основним способом ведення господарства. Так, у Єгипті й Південно-Західній Азії вирощували пшеницю і ячмінь, у Європі — овес і жито, у Китаї та на Південному Сході — рис і просо. Виникли перші найдавніші держави. Почалося будівництво монументальних кам'яних споруджень, широке застосування металевих (мідних) знарядь, виникла писемність. У VII тисячоріччі до н. е. почали застосовувати бронзові знаряддя, а від середини II тисячоріччя до н. е. — залізні.

За тих же часів людство вперше відчуло на собі дію екологічних криз (X–IX тисячоріччя до н. е.; середина VIII–VII тисячоріччя до н. е.; II половина VI — V тисячоріччя до н. е.; II половина IV — поч. II тисячоріччя до н. е.; XIII–VI ст. до н. е. тощо). Результатом цих криз були істотні багаторічні кліматичні зміни (посухи, опустелювання тощо) з різкими біосферними змінами, що відбувалися з різних причин, у тому числі й внаслідок господарської діяльності людей, які призвели до загибелі цілої низки давніх цивілізацій.

У середні віки середня тривалість життя людей становила 37 років, збільшуватися вона почала в епоху Великих географічних відкриттів і науково-технічної революції Нового часу. 1750 року на Землі проживало 728 млн людей.

На початку XX століття людський вік подовжився спочатку до 50, а потім і до 70 років. 1900 року на Землі жило 1650 млн людей; 1950 року — 2600 млн людей; 1987 року народився 5-мільярдний житель планети; у червні 1999 року нас стало 6 мільярдів з урахуванням 1 млрд 276 млн жителів Китаю й 1 млн 700 тис. жителів Індії. У країнах, що розвиваються, і США чисельність населення неухильно зростає, а в Україні та Європі вона поступово зменшується.

Середня тривалість життя землян становить 80 років для жінок й 72 роки для чоловіків, проте стосовно певної країни миру ці показники значною мірою коливаються. Так, у Японії чоловіки живуть у середньому 76,8 року, жінки — 82,9 року, а в Афганістані — 45 й 46 років відповідно. Середня тривалість життя українців становить 72,2 року для жінок й 58,1 року для чоловіків.

75–80 % населення розвинених країн проживає в містах. Кількість городян постійно збільшується: якщо 1950 року лише у 8 містах світу населення перевищувало 5 мільйонів осіб (Сан-

Паулу (12,3 млн), Лондон (8,7 млн), Токіо (6,9 млн), Париж і Москва (по 5,4 млн людей), то зараз на Землі нараховується вже 30 міст із 7-мільйонним населенням: Токіо (28 млн), Мехіко (18,1 млн), Бомбей (18 млн), Сан-Паулу (17,7 млн), Нью-Йорк (16,6 млн).

ПРОДОВЖЕННЯ УРОКУ-СЕМІНАРУ (НАСТУПНИЙ УРОК ЗА РАХУНОК РЕЗЕРВУ)

1. «Що таке розум?» — доповідь із подальшою короткою дискусією
2. Теорії про походження людства — доповідь, 2–3 повідомлення.
3. «Де і як шукати позаземні цивілізації?», «Історія пошуку позаземних цивілізацій», «Програми SETI й CETI» — доповіді й повідомлення.
4. «Перший контакт», «Чи відвідували вони Землю?» й «Загадки НЛО» — доповіді, повідомлення, для підготовки яких використовується науково-фантастична література (твори І. А. Єфремова, А. Кларка, С. Лема, А. Н. і Б. Н. Стругацьких й ін.).

На початку заняття, порушуючи проблему, вчитель акцентує увагу учнів на важливості питань про походження людства й можливості існування позаземних цивілізацій.

Перший учень, виступаючи з доповіддю «Що таке розум?», робить спробу визначити поняття, що належить до фундаментальних, категоріальних наукових понять. Робота над визначенням поняття «розум» ведеться у ході подальшої дискусії подібно до того, як це робилося під час визначення поняття «життя». Можна запропонувати учням сформулювати поняття «суспільство» й «цивілізація».

Далі учні ознайомлюють з основними гіпотезами про походження людей, які можна розділити на 3 групи:

- 1) антинаукова релігійна гіпотеза про «божественне» походження людства;
- 2) люди виникли в результаті діяльності інопланетян або є їхніми прямими нащадками — у світлі сучасних відкриттів у генетику ця наукоподібна гіпотеза не витримує жодної критики;
- 3) поява Homo sapiens є закономірним етапом еволюції живих організмів на Землі.

Далі відбувається обговорення гіпотез, у ході якого вчитель повинен допомогти учням правильно проаналізувати припущення учених, про які йдеться в доповідях, виділити з них найбільш правдоподібні й ненав'язливо привести учнів до висновку про цілковиту неспроможність гіпотези «божественного створення» людини.

Учні повинні дійти висновку, що, попри невизначеність у питанні про походження людей на Землі, безсумнівним є факт їхнього природного й «земного» походження на певному етапу розвитку життя на нашій планеті.

У ході короткої бесіди учні визначають умови, необхідні для появи й розвитку розумних істот. Обговорюються умови існування й пошуку позаземних цивілізацій. Учитель виводить формулу Дрейка.

Заслуховуються й обговорюються доповіді й повідомлення «Де і як шукати позаземні цивілізації?», «Історія пошуку позаземних цивілізацій», «Програми SETI й CETI», «Пошук позаземних цивілізацій вченими Європи». на основі спроб пояснення парадокса Фермі зав'язується дискусія про основні шляхи розвитку й долі космічних цивілізацій. Учні доходять висновків:

1. У цей час діяльність людства стає фактором глобального геофізичного й навіть космічного масштабу, що впливає на атмосферу, гідросферу, літосферу Землі й навколоземний космічний простір, а в перспективі — на всю Сонячну систему.
2. Розумна діяльність надцивілізацій може впливати на еволюцію неживої й живої матерії в масштабах Галактики й навіть Метагалактики.

Завершує заняття весела бесіда, пов'язана з доповідями «Перший контакт», «Чи відвідували вони Землю?» й «Загадки НЛО».

ДОВІДКОВИЙ МАТЕРІАЛ З ПИТАНЬ ПОЗАКЛАСНОГО ЗАНЯТТЯ

Припущення про можливості існування неземного життя й розуму висловлювали багато видатних вчених минулого: Епікур і Лукрецій Карр, Дж. Бруно, Й. Кеплер, Х. Гюйгенс, І. Ньютон, В. Гершель, Л. Лаплас, М. В. Ломоносов, І. Кант, К. Е. Ціолковський. Наприкінці XIX ст. були розроблені перші наукові проекти зв'язку з позаземними цивілізаціями (К. Гаусс, фон Літтров, Кро й ін.). 1876 р. Російський учений Е. Неовіус у книзі «Найбільше завдання нашого часу» сформулював проблему встановлення зв'язку з позаземними цивілізаціями, розглянув технічні можливості першого контакту й запропонував мову космічного зв'язку, спираючись на принципи математичної логіки. 1900 року Паризька Академія наук заснувала премію для першої людини, що встановить контакт із представниками позаземних цивілізацій, «крім Марса», оскільки в існуванні високорозвиненої марсіанської цивілізації майже ніхто не сумнівався. Про необхідність установлення «телефонного

повідомлення» між Землею й Марсом К. Фламмаріон заявляв ще 1892 року (до винаходу радіо!). К. Е. Ціолковський 1934 року писав: «У найближчому майбутньому короткі радіохвилі пронизають нашу атмосферу й стануть основним засобом міжзоряного зв'язку».

Число галактичних цивілізацій, здатних у цей момент часу i вступити в контакт між собою, визначають за формулою:

$$N_G(t) = N^* \cdot f_p \cdot n_e \cdot F \cdot q,$$

де N^* — загальне число зір у Галактиці; f_p — частка зір із планетними системами; n_e — середнє число планет з необхідними для виникнення життя умовами в кожній планетній системі; F — імовірність виникнення космічної цивілізації на даній планеті; q — імовірність можливості даної цивілізації встановити контакт з іншими в момент t .

Формула Дрейка визначає чисельність планет Галактики, на яких у цей час існує розумне життя:

$$N_0 = \frac{N^* \cdot F \cdot L_c}{t},$$

де F — імовірність того, що на будь-якої придатній для існування життя планеті до моменту часу t виникне комунікативна (здатна й така, що прагне контакту) космічна цивілізація; L_c — середня тривалість комунікативної фази космічних цивілізацій. Час t відраховують від моменту утворення зір I-го покоління.

Для космічних цивілізацій земного типу коефіцієнт F повинен ураховувати ймовірності виникнення життя, виникнення розумних істот і виникнення комунікативної цивілізації.

Оцінювання окремих величин у формулі Дрейка за різними розрахунками учених значно розрізняється і є досить суб'єктивним: $10^{-6} < F < 1$. Деякі вчені (А. Уоллес, І. С. Шкловський та ін.) уважають нашу цивілізацію єдиною у Всесвіті.

Контактом космічних цивілізацій називається будь-яка взаємодія між ними.

Найімовірнішим є здійснення контакту за різними каналах зв'язку (за допомогою спрямованих радіопередач тощо). Найбільш ефективні контакти, що передбачають двосторонній або навіть багатобічний обмін інформацією протягом значних проміжків часу («Велике Кільце» у романах І. А. Єфремова). Ефективність обміну інформацією визначається відстанню між цивілізаціями й швидкістю поширення сигналу. Для молодих цивілізацій, що бажають

вступити в контакт, ізолювані у просторі або перебувають у критичному становищі тощо, імовірна можливість різноспрямованої односторонньої передачі інформації («Всім, всім, всім!»).

Менш імовірні безпосередні, взаємні або односторонні контакти — відвідування представниками космічної цивілізації інших розумних істот. Випадкова зустріч представників різних космічних цивілізацій майже неімовірна; відвідуванню передують контакти через канали зв'язку.

Міжзор'яні перельоти потребують масштабних матеріальних й енергетичних витрат, доступних лише цивілізаціям II типу. Релятивістські польоти можливі лише до найближчих зір, але навіть у цьому випадку вони потребують особливої підготовки (сон-гібернація для постійного екіпажа; зміна поколінь усередині корабля; поле в один кінець без повернення, про що можна дізнатися у фантастичних творах І. Єфремова «Зоряні кораблі», Р. Хайнлайна «Пасинки Всесвіту», К. Саймака «Покоління, що досягло мети» тощо). Релятивістська астронавтика також накладає ряд обмежень на дальність польоту (теоретично за швидкості корабля $u \sim c$ впродовж часу життя одного екіпажа ($t \approx 10\text{--}20$ років) за годинниками корабля можна зробити політ, наприклад, до галактики М31 (3,5 млн св. років), але екіпаж повернеться на Землю через 7 млн років після старту! (С. Лем «Повернення із зір»)). Галактодромія можлива лише для цивілізацій III типу, але й для них це буде дорогим задоволенням! Так, теоретична можливість існування топологічних тунелів («кротячих нір» або мостів Ейнштейна—Розена) у формі парних систем із чорної й білої дір, що з'єднують будь-які віддалені області Метагалактики або навіть міні-всесвіти, робить імовірним безпосередній контакт цивілізацій. Якщо маса системи $5 \cdot 10^{22}$ кг, можливий миттєвий зв'язок за допомогою електромагнітного випромінювання, а якщо «передавач» — чорна діра масою в $10^5 M_\odot$, то можна навіть миттєво подорожувати в будь-яку область Всесвіту, де встановлений відповідний «приймач» — біла діра (К. Саган «Контакт»). Але навіть якщо парадоксальні цивілізації освоюють галактодромію, між ними під час здійснення прямих контактів виникає безліч проблем (С. Лем «Солярис», «Едем», «Фіаско»). Тому найбільш зручними видаються контакти «змішаного типу», що передбачають дослідження передбачуваного району існування космічних цивілізацій за допомогою автоматичних міжзор'яних зондів, що передають отриману інформацію з каналів зв'язку.

Статистичний підхід — вивчення довільно обраного часу t_0 від виникнення розумного життя до створення комутативної цивілізації — дає нижню оцінку числа позаземних цивілізацій у Галактиці без обліку можливості виникнення якісно інших, несхожих на земні, форм життя й розуму. За $F = 0,01$ можлива кількість космічних цивілізацій у Галактиці $1 < N_0 < 10^9$. Оптимісти 60-х років уважали, що в цей час у Галактиці існує від 100 тис. до 1 млн розвинених космічних цивілізацій.

Велика астрономічна революція XX століття, виникнення й розвиток радіоастрономії й космонавтики зробили проблему SETI («пошук неземного розуму») актуальним науковим завданням, надзвичайно популярним у широких колах громадськості.

У Радянському Союзі проблемою існування, пошуку й контакту з ПЦ займалися такі відомі вчені, як І. С. Шкловський, Н. С. Кардашев, С. А. Каплан, В. Ф. Шварцман, П. В. Маковецький, В. С. Троїцький й інші. Секція «Пошуки сигналів позаземних цивілізацій» при Науковій Раді з вивчення проблеми «Радіоастрономія» АН СРСР була створена 1964 року, а потім перетворена на секцію «Пошуки космічних сигналів штучного походження». 1999 р. секція під назвою «Пошуки позаземних цивілізацій» увійшла до складу наукової ради з астрономії РАН; головою її є академік Н. С. Кардашев.

За кордоном (переважно у США) аналогічну роботу вели вчені Ф. Крик, К. Таунс, Дж. Платт, К. Фленнері, Ф. Дрейк, Дж. Кокконі, Ф. Моррісон, К. Саган і багато інших.

На початку 60-х років були сформульовані класичні принципи SETI:

1. Позаземні цивілізації прагнуть встановити міжзор'яний зв'язок одна з одною та із земною цивілізацією.
2. Оптимальним засобом контакту з позаземними цивілізаціями є електромагнітні (радіо-) хвилі.
3. Вузькополосні, змінні у часі, повторювані сигнали ПЦ повинні виходити із точкового радіоджерела, що практично збігається зі схожою на Сонце зорею.

До сьогодні проведено понад 60 експериментальних спроби виявлення сигналів ПЦ, причому 84 % з них ґрунтувалися на перерахованих вище принципах.

Перші роботи (проект ОЗМА) з пошуку радіосигналів на хвилі 0,21 м від зір τ Кита й ϵ Еридана були виконані 1960 року Ф. Дрейком. 1962 р. із Центру далекого космічно-

го зв'язку радянськими вченими було відправлено перше безадресне послання позаземним цивілізаціям. У 1970–1980-ті рр. пошук імпульсних радіосигналів з усієї небесної сфери за допомогою повсюдно спрямованої антени в сантиметровому й дециметровому діапазонах довжин хвиль вели В. С. Троїцький і Н. С. Кардашев. У листопаді 1974 року в напрямі кульового зоряного скупчення М13 (24 000 св. років) було відправлено радіоповідомлення про нашу земну цивілізацію. Відомості про Землю й людство містяться на борту АМС, що залишає межі Сонячної системи.

До середини 80-х років визначилися основні положення стратегії активного пошуку ПЦ з метою здійснення контакту. Вони орієнтувалися на припущенні про найімовірніше існування КЦ на поверхні планет земної групи, що входять до складу планетних систем зір класів F5–K5, і про те, що енергетичний потенціал і технологічні можливості цих цивілізацій порівнянні або перевершують аналогічні можливості земної цивілізації.

1. Пошук слідів астроінженерної діяльності космічних цивілізацій

До сьогодні в нашій країні й за кордоном розроблено багато різних проектів перетворення навколосезного космічного простору й Сонячної системи — від створення численних орбітальних станцій і великих космічних поселень навколо Землі й навколо Сонця («ефірних міст» К. Е. Ціолковського) до побудови штучних біосферних систем на поверхні планетних тіл (у тому числі штучно сконструйованих) та кілець і сфер Ф. Дайсона (США) з метою якомога повнішого використання енергії Сонця. Аналогічні об'єкти можуть бути виявлені в космосі як локальні, дуже близькі до зір джерела інфрачервоного (ІЧ-) випромінювання ($l \gg 10\text{--}3$ мкм), зорі з аналогічним надлишком ІЧ-випромінювання й нетеплового циклотронного радіовипромінювання. У цей час відомо 98 ІЧ-джерел з ефективною температурою 110–120 і 280–290 К; 58 з них є неототожненими об'єктами.

Вимоги космічної екології породили проекти пошуку радіоактивних хмар відходів ПЦ у космосі.

Астроінженерна діяльність цивілізацій III типу може набувати вигляду і масштабів «космічного чуда» — спостерігатися у формі великомасштабних космічних проектів, процесів або явищ, не пояснених або навіть неймовірних з погляду сучасної науки, існування яких порушує відомі закони науки.

2. Пошук слідів відвідування Землі представниками позаземних цивілізацій можна вести за декількома напрямками:

- а) Пошук неземних артефактів — об'єктів або процесів, утворення або існування яких на Землі не може бути пояснено природними причинами. Такі об'єкти можуть бути просто «космічним сміттям», відходами життєдіяльності позаземних цивілізацій (А. і Б. Стругацькі «Пікнік на узбіччі») або штучно створеними системами для спостереження за земною цивілізацією (А. Кларк «Космічна одісея»). Найбільш перспективними районами пошуку ряд учених вважає полярні райони Місяця. Наукові засади пошуку артефактів ОЦ розглянуто в дослідженнях А. В. Архипова. За його розрахунками навколо зір цивілізацій II типу існує «техногенна зона» і від 3 до 15 % продуктів їхньої космічної діяльності розсіюється в міжзоряному середовищі.
 - б) Пошук слідів відвідування Землі в історичному минулому на основі вивчення пам'яток матеріальної й духовної культури.
 - в) Пошук слідів відвідування Землі у далекому минулому на основі вивчення генетики живих істот: деякі сучасні вчені вважають перспективним можливість включення інформації в генетичну структуру клітини. «Біологічний» канал зв'язку здатний існувати настільки ж довго, як і життя на планеті, адже він має високу інформаційну місткість, відзначається стійкістю до перешкод і доступний для «прочитання» лише на високому рівні розвитку місцевої цивілізації.
 - г) Вивчення аномальних явищ (АЯ, НЛО), що виходить із припущення, ніби частина їх представляє дослідницькі пристрої (автоматичні міжзоряні зонди або навіть пілотовані КЛІА) ПЦ. Слід зазначити, що завдяки прихильникам легких сенсацій, газетному галасу, книгам і фільмам Е. фон Деннікена, А. Казанцева тощо наукова проблема з виявлення слідів інопланетян на Землі здобула такої скандальної слави, що серйозні вчені почали соромитися предмета своїх досліджень.
- #### 3. Пошук сигналів позаземних цивілізацій.
- Надзвичайно важливим є вибір оптимального діапазону електромагнітних хвиль, що повинен мати мінімум принципово нездоланих перешкод й послаблень сигналу внаслідок дії різних факторів.

З погляду сучасної науки для пошуку сигналів позаземних цивілізацій із метою встановлення контакту оптимальним є короткохвильова ділянка радіодіапазону ($10^{-4} < \lambda < 1$ м). Для циві-

лізації, чий рівень розвитку дорівнює або дещо переважає земний і яка має аналогічну техніку зв'язку, найбільш імовірними є вузкопорожнинні штучні сигнали в діапазонах $l = 0,21$ м (лінія випромінювання космічного водню), $l = 0,18$ м (лінія випромінювання гідроксиду OH) і $l = 1,35$ см (лінія водяної пари H_2O), сигнали на кратних частотах або частотах, скомбінованих з основної частоти й математичних сталих, а також позивні, розподілені по широкій смузі частот, щоби полегшити пошук сигналу. Високорозвинені цивілізації II типу можуть генерувати широкопорожнинні потужні сигнали.

Ще одним напрямом пошуку радіосигналів ОЦ може бути радіоперехоплення передач із борта наземних КЛА, що перебувають у Сонячній системі.

Можливість виявлення радіосигналу визначається відношенням потужності сигналу a до потужності шуму й залежить від характеру сигналу. Для його виявлення необхідно, щоби $a > 1$; при $a < 1$ одержувачеві потрібно знати код відправника. Останніми роками була розроблена методика пошуку слабких сигналів позаземних цивілізацій «під шумами» (Н. Т. Петрович).

Для обміну інформацією між КЦ, що вступили в постійний контакт, краще обрати оптичний діапазон електромагнітних хвиль, оскільки він має високу пропускну здатність, відзначається стійкістю до перешкод і спроможний здійснювати енергозберігальні гостроспрямовані передачі за допомогою лазера. Ще більш перспективними є рентгенівські й γ -діапазони електромагнітних хвиль.

У найближчому майбутньому створення приладів і способів реєстрації нейтринного випромінювання, торсійного випромінювання й гравітаційних хвиль надасть нові можливості для пошуку сигналів позаземних цивілізацій.

Здійснення контакту за допомогою засобів зв'язку виконують у певній послідовності:

- а) прийом позивних позаземних цивілізацій, здатних привернути увагу одержувача; щоби полегшити виявлення сигналу, слід указувати на його штучне походження (мати незвичайний спектр, особливості поляризації, часові зміни й т. д.) і повідомити ключ для передавання основного повідомлення (вказівка на смугу частот, спосіб кодування тощо);
- б) прийом основного повідомлення, розшифровка, обробка й осмислення отриманої інформації;

в) послання відповідного сигналу й установа двостороннього (різнобічного) контакт із позаземними цивілізаціями.

Контактуючі сторони повинні передбачати хоча б мінімальні інформаційні гарантії, що взаємодія між ними не буде пов'язана із серйозними потенційними небезпеками.

...Які на сьогоднішній день результати роботи SETI? Упродовж 35 років було зареєстровано низку явищ, які неможливо пояснити із погляду сучасної астрофізики, що, у свою чергу, призводить до висновку про їх штучне походження. Це численні короткочасні спалахи радіовипромінювання тривалістю від 0,001 до 50 с на частотах 390–2900 Гц, причому понад 20 з 59 сигналів спостерігали потім повторно. У серпні 1977 року астрономічна лабораторія університету Огайо (США) зареєструвала із сузір'я Стрільця вузькопорожнинний радіосигнал ($l = 0,21$ м) тривалістю 37 с, що відповідає всім класичним принципам штучності.

Щоправда, негативних результатів пошуку набагато більше.

З 53 найближчих, у радіусі 10 пк, зір лише 2 задовольняють умови, що допускають існування планетних систем із протяжною «зоною життя» (т Кита й є Індіанця). Послані до них радіоповідомлення залишилися без відповіді.

І хоча поблизу центра Галактики, за розрахунками учених, не менше 20 000 зір, схожих на Сонце, у планетних системах яких може існувати до 1000 позаземних цивілізацій, швидкість проходження радіосигналу (27 000 св. років в один кінець) унеможливає встановлення двостороннього зв'язку.

Усі спроби виявити на Землі й у навколосемному космічному просторі сліди сучасної або хоча б найдавнішої діяльності позаземних цивілізацій закінчилися невдачею, включаючи незалежні, повномасштабні дослідження НЛО (АЯ), що фінансував у 60-ті роки Пентагон у США, а в 70-ті роки — Міністерство оборони СРСР.

Виник «астросоціологічний парадокс», що полягає у «значній імовірності повної цивілізації Всесвіту й відсутності в цей час будь-яких спостережуваних проявів космічної діяльності розумних істот» (Н. С. Кардашев).

Сучасна наука не заперечує можливості існування позаземних цивілізацій, але не має у своєму розпорядженні бодай яких-небудь достовірних свідчень, що позаземні цивілізації існують.

...Кілька разів виникала «фіктивна тривога»: були відкриті нові, невідомі науці космічні об'єкти, процеси, явища, що демонстрували вченим-першовідкривачам ознаки штучності.

Англійські вчені Е. Хьюїш і Дж. Белл, що 1967 року відкрили нейтронні зорі-пульсари — джерела імпульсного радіовипромінювання, — кілька місяців зберігали в таємниці результати спостережень, поки не переконалися в «природному» походженні таємничих сигналів. Аналогічна історія сталася й під час відкриття космічних мазерів — джерел когерентного радіовипромінювання міжзоряного гідроксилу OH і водяної пари в областях зореутворення й оболонках змінних зір (Х. Уївер й інші, США, 1965–1969 рр.).

«Існує реальна небезпека, що SETI може бути використано як військову частину національних космічних досліджень», — уважає американський учений А. Е. Гудман. Висновки вчених, що досліджували в 60–70-ті роки НЛО (АЯ), були засекречені впродовж 20 років. Навіть у наш час установлення контакту з позаземними цивілізаціями якою-небудь однією державою призвело б до посилення міжнародного напруження, а в роки «холодної війни» наслідком цього міг би бути збройний конфлікт (Ч. Айтматов «І довше віку триває день»).

1989 року Міжнародний інститут космічного права й Академія астронавтики розробили «Декларацію принципів дій, що слід робити у разі виявлення позаземної цивілізації». Мета прийняття документа — «забезпечення високих стандартів, наукової відповідальності й вірогідності інформації»:

«§ 1. Першовідкривач ... повинен перевірити, що найбільш правдоподібним поясненням ... є існування позаземного розуму, а не який-небудь природний чи антропогенний феномен.

§ 2. ...Сторони цієї декларації не повинні розголошувати привселюдно інформацію до з'ясування надійності існування неземного розуму. Першовідкривач повинен поінформувати свої національні влади.

...Декларація забороняє першовідкривачеві посилати відповідний сигнал позаземним цивілізаціям до проведення належних міжнародних консультацій...».

До сьогодні нарешті було усвідомлено всю серйозність проблеми SETI як з науково-технічної, так і з інших позицій. Так, наприклад, потужність повсюдно спрямованого радіомаяка для встановлення первинного контакту з позаземними цивілізаціями, віддаленими на відстань в 1000 св. років, має становити 10^{18} Вт, а його маса $5 \cdot 10^{19}$ тонн. Отже, з екологічних міркувань, його слід вивести далеко за межі планетної системи.

Якщо безліч передавачів працюватимуть одночасно, їхнє випромінювання почне перекриватися, а отже, стане широкополосним і протяжним у часі.

Розбіжність епох технічного рівня цивілізацій

Характерна шкала технологічного рівня цивілізації Землі (близько 200 років) в 10 мільйонів разів менше за проміжок часу, що минув від моменту можливого виникнення найбільш ранніх цивілізацій Галактики (2 мільярди років). На думку Н. С. Кардашева, перші цивілізації Метагалактики могли виникнути вже через 6 млрд років після Великого Вибуху.

Автономні КІД на технологічній стадії розвитку не можуть дозволити собі створення дорогих й енергомістких проектів космічних радіомаяків й організувати міжзоряні експедиції.

Чи будуть позаземні цивілізації прагнути встановити контакт із нестабільними й агресивними цивілізаціями, до яких належить людство?

Пошук позаземних цивілізацій триває: до сьогодні досліджена лише 10^{-17} частина об'єму потенційного місцезнаходження цивілізацій Галактики. На дослідження SETI у США щорічно витрачається 12–14 млн доларів. У колишньому СРСР з 1989 р. була запроваджена програма пошуку радіосигналів ПЦ «Зодіак». Дослідження ведуться в діапазоні довжин радіохвиль 1,38; 2,7; 3,9; 7,6; 13,0; 21,0; 31,0 см з використанням радіотелескопа РАТАН-600 і в оптичному діапазоні за допомогою — метрового БТА. До 2000 р. було обстежено 35 сонцеподібних зір, у тому числі 5 зір із планетними системами. Чотири найбільш перспективні об'єкти (W252 й ін.) досліджуються за допомогою мережі найбільших радіотелескопів світу в рамках програми VLBI. Пошук оптичних сигналів ОЦ ведуть за допомогою унікального комплексу апаратури CAO (Росія). З 1999 р. у рамках міжнародної програми «Cosmic Call» («Космічний заклик») за допомогою планетарного радіолокатора (Росія) до найближчих зір класів Р5–К5 посилають радіоповідомлення, що містять інформацію про земну цивілізацію й учасників проекту.

Що ми дізналися на уроці

- Виникнення життя на Землі підготовлено ходом еволюції неживої матерії у Всесвіті.
- Існування життя на Землі визначається сталістю дії космічних факторів: потужністю й спектральним складом сонячного ви-

промінювання, незмінністю основних характеристик орбіти Землі та її осевого обертання, наявністю магнітного поля й атмосфери планети.

- Розвиток життя на Землі багато в чому обумовлено плавними незначними змінами космічних факторів; сильні зміни ведуть до катастрофічних наслідків (розділ «Генетика»: космічні промені та їхній розгляд як мутагенних факторів).
- На певному етапі свого розвитку життя стає фактором космічного масштабу, що здійснює вплив на фізико-хімічні характеристики основних оболонок планети (наприклад, склад і температуру атмосфери, гідросфери й верхніх шарів літосфери).
- Визначення життя: «Живі тіла, що існують на Землі, являють собою відкриті, самоорганізувальні й самовідтворювальні системи, побудовані з біополімерів — білків і нуклеїнових кислот».
- Розум — це здатність живої матерії для обміну інформацією із зовнішнім середовищем, кодованою поняттями.
- Можливі форми життя — «аміачне», «сірководневе», «кремнієве», «фторове».

IV. ЗАКРІПЛЕННЯ НОВИХ ЗНАНЬ

*Загадочно мерцяя в окулярах,
Плывёт сквозь тьму космических глубин
Оранжевый сосед земного шара,
Фантазий и утопий властелин —*

*Марс; миллионоверстным расстояньем
Уменьшен, в детский мячик превращён,
Плывёт, мерцает гаснущим сияньем
Закатных, нам неведомых времён.*

*Что кроется в его немых пустынях?
Какая жизнь, чтоб не сгорит дотла,
Каналов сеть — систему странных линий
От полюса к экватору сплела?*

*Кто дышит атмосферой разрежённой,
И, может быть, следит который век
За нашею планетою зелёной,
Где марсиан придумал человек?*

*Трёхногие гиганты страшной сказки,
Железные горбы багровой тьмы...
Уэллс их создал людям для остротки,
Пугая слишком смелые умы.*

*Нет, не затем мечта стремилась к свету
И сердце Циолковского влекла,
Чтоб вестницей войны пошлёт ракету
Туда, где жизнь спасения ждала.*

*Не угадать и не назначить срока,
Но он настанет — этот день и час,
Когда мы встретим тех, кто издалёка,
Надежды не теряя, верил в нас.*

1. Поясніть, чому пошук життя на інших планетах вперше було проведено саме на Марсі.
2. Коротко викладіть наукову теорію розвитку земної розумного життя з простих одноклітинних організмів.
3. Вкажіть два спостережені факти, які свідчать на користь теорії спонтанного розвитку перших живих організмів на Землі.

ПЛАН УРОКУ (II ВАРІАНТ)

План конференції з теми «Чи існує життя поза Землею?»

З'явившись на світ, маленька людина початок свого життя проводить у колисці, яка малюка цілком влаштовує. Однак з часом дитина потребуватиме дедалі більше простору, спілкування, вражень. Спочатку вона освоює житло своїх батьків, потім місцевість, у якій живе, а згодом і більш віддалені райони, які потрапляють у сферу діяльності вже дорослої людини. Чи не так вчиняє людство, для якого наша планета є колискою, а тому її межі є затісними для історичного розвитку нашої цивілізації? Чи є в ідеї виходу людства за межі Землі щось протиприродне й надумане? Звісно, ні! Перед ученими, інженерами постає проблема: досліджувати, коли і яким способом людство має освоювати космос. Перші кроки в її розв'язанні були зроблені 4 жовтня 1957 р. й 12 квітня 1961 р., коли в Радянському Союзі вперше у світі були запущені автоматичний літальний апарат і пілотований корабель.

Розум вийшов за межі своєї колиски.

Всесвіт безмежний у своєму різноманітті. Це — результат наукових вишукувань багатьох поколінь учених всіх країн. І серед незліченної кількості зоряних і планетних систем не можуть не зустрітися такі планети, фізичні умови на яких створили передумови для зародження й розвитку життя. Але спитаймо: якого життя? Такого, як у нас, або відмінного від нашого? Ще складнішим є питання про позаземний розум. Чи існує він? А якщо так, то який він і чи зможемо ми його збагнути? Питання про безліч світів цікавило людей давно. Майже відразу після того, як люди почали вивчати природу небесних тіл, дехто з учених дійшов висновку, що можуть існувати й інші світи. Саме цій темі й присвячена сьогоднішня наша передача «Очевидне — неймовірне». Сьогодні ми спробуємо розглянути тему «Життя й розум у Всесвіті» з різних позицій. Готуючи передачу, ми мали можливість поспілкуватися не тільки з відомими астрономами, істориками, які займаються цією проблемою, але й із одним з військових США, знаменитими уфологами нашого часу. Напевно, багато дечого залишиться поза рамками нашої зустрічі, проте сподіваємося, що вона буде не єдиною. Ті матеріали, які підготувала наша студія, досить неоднозначні: у декого вони можуть викликати недовіру й скептицизм, а дехто їх може сприйняти за достовірні. Вам вирішувати, дорогі телеглядачі.

Перш ніж розпочати роботу над нашою темою, ми вирішили з'ясувати, наскільки далеко сягають коріння сьогоднішньої теми. Щоби бодай трохи розібратися у цьому питанні, ми звернулися до відомого історика сучасності (прізвище учня, який виконує роль історика. Давайте, послухаємо, як нам відповіли на питання: «Які факти з історії розвитку нашої цивілізації можуть свідчити про те, що людство бентежила проблема життя у Всесвіті. Які вчені досліджували цю проблему?»

Історик. Ще з давніх-давен людина піддала сумніву думку, що Земля є єдиним небесним тілом, на якому існує життя. У багатьох працях стародавніх філософів знаходимо ідею про існування позаземного життя. І у священній книзі індусів «Веди», і в «Авесті» персів, де викладено віровчення Заратустри, говориться про повсюдне життя. Серед давньогрецьких мислителів прихильником цієї ідеї був Анаксагор. У своєму вченні про панспермію (панспермія — занесення життя спорами мікроорганізмів із космосу.) він розвивав думку про те, що зародки життя поширені всюди.

Філософська школа Епікура вчила, що існує безліч населених світів, подібних до нашої Землі. Один із прихильників цієї школи

Мітридор сказав, що «уважати Землю єдиним населеним світом у безмежному просторі було б такою безглуздістю, як стверджувати, що на величезному полі міг би вирости тільки один пшеничний колосок».

Римський філософ Лукрецій Кар у поемі «Про природу речей» писав: «Весь цей невидимий світ зовсім не єдиний у природі, і ми повинні вірити, що в інших областях простору є інші землі з іншими людьми й іншими тваринами».

У середньовіччі це вчення підтримували «батьки церкви», які надавали йому ідеалістичного характеру.

Відомий всім Джордано Бруно також відстоював думку про безліч населених світів. Він говорив: «Існують незліченні сонця, незліченні землі, які кружляють навколо своїх сонць, подібно до того, як наші 7 планет кружляють навколо нашого Сонця... У цих світах живуть живі істоти».

У XIX й у першій чверті XX ст. прихильниками вчення про панспермію були видатні вчені (Ф. Кін, Ю. Лібіх, Г. Гельмгольц, В. Томпсон). Вони виходили з ідеалістичного погляду на життя, яке разом із матерією сприймали за споконвічну категорію. Оскільки життя, уважали натуралісти, є вічним, воно не зароджується, а її готові зародки лише переносяться через космічний простір з одного небесного тіла на інше.

Коли відомий вітчизняний дослідник П. Н. Лебедев експериментально довів, що світло чинить тиск, С. Арреніус використав це відкриття, щоб обґрунтувати можливість відриву від поверхні Землі таких живих утворень, як спори бактерій, подолання ними земного притягання й проникнення в космос під тиском сонячних променів. За розрахунками дослідника, тіла із поперечником 1,5–2 мкм можуть за 14 місяців полишити межі нашої планети.

Ведучий. Судячи з ваших відомостей, ви нам зараз пропонуєте обговорити проблему зародження життя на Землі або на якій-небудь планеті з погляду панспермії.

Історик. Я не можу взяти на себе таку відповідальність стверджувати, що життя на Землі зародилося саме в такий спосіб. Розв'язання цього питання — справа вчених і часу. Краще за мене про вивчення цього питання можуть розказати біологи, фізики, які проводили подібні експерименти в лабораторних умовах.

Ведучий. Як людина, що вивчала у школі фізику, можу сказати, що з погляду цієї теорії не можна пояснити зародження життя на Землі, крім того, спори бактерій під час руху в космічному

просторі, отримують дозу опромінення, що у багато разів перевищує смертельну. Саме тому нам довелося звернутися за консультацією до біологів. Давайте послухаємо їхню думку.

Біолог. Спори бактерій не є найменшими живими істотами. У деяких бактерій існують форми, що проходять через мікробні фільтри. Їхній розмір коливається в межах 0,1–0,5 мкм. Приблизно така сама величина клітин мікоплазм — групи мікроорганізмів, клітини яких не мають стінок. Такі дрібні об'єкти можуть легше долати силу земного притягання. Ультрафіолетова радіація є згубною лише для «голих» спор. Досліди показують, що якщо бактеріальні спори покрити тонким шаром порошин, отриманих з туфу або порошку з метеорита, то спори зберігають свою життєздатність, навіть якщо доза ультрафіолетових променів є згубною для бактерій.

Останніми роками проблему існування позаземної цивілізації повсюдно вивчають із застосуванням новітніх методів дослідження. Зародилася нова галузь біології, що дістала назву екзобіології, або космічної біології. Дослідники, що працюють у цій галузі, орієнтуються на припущення, що життя поза Землею може існувати у всіляких формах і на різноманітних стадіях розвитку, починаючи з найпростіших доклітинних організмів і закінчуючи високоорганізованими, навіть мислячими істотами, здатними створювати високу цивілізацію.

Одним із розділів космічної біології є космічна мікробіологія. Вона обмежує об'єкти своїх пошуків і досліджень мікроскопічними істотами. Поки з цілковитою вірогідністю відомо про існування життя тільки на одному космічному тілі — на Землі.

А от дати точну відповідь на питання, як виникло життя на Землі, учені утруднюються, вірніше сказати, їхні думки стосовно цього питання розділяються. Одні виступають прихильниками панспермії. Інші, наприклад А. І. Опарін і В. Г. Фесенков, повністю відкидають це вчення, вважаючи, що життя не переноситься, як «негасимий вогонь Вести» з одного небесного тіла на інше у вигляді готових зародків, а виникає заново щоразу, коли для цього створюються належні умови під час розвитку матерії.

Ведучий. Виходить так, що сучасна наука ще не може дати відповідь, чи існує у Всесвіті життя поза Землею. А чи спроможна вона вказати, які умови необхідні для виникнення життя? Із цим питанням ми звернулися до фізиків.

Фізик. Виходячи з того, що на нашій планеті існує життя, можна із упевненістю стверджувати, що умови, необхідні для виникнення життя, мають бути подібними до земних умов, а саме:

- 1) Планета повинна одержувати від своєї зорі, навколо якої вона обертається, певну постійну кількість радіації.
- 2) Маса планети не повинна бути занадто великою або занадто малою. Якщо вона становить 0,01 маси Сонця, то на такому небесному тілі температура занадто велика і воно має бути скоріше віднесене до зір, ніж до планет. Якщо небесне тіло має занадто малу масу, воно не спроможне втримувати гази й воду в рідкому стані. Тіло масою 1/1000 маси Сонця уже має незначну власну температуру й може утримувати навколо себе в потрібних співвідношеннях первинні гази — водень, аміак, метан. Ці гази служать вихідним матеріалом, що має пройти тривалий шлях хімічного ускладнення, без чого неможливо його перетворення в живу речовину.
- 3) Вік планети повинен бути досить великий, щоб на ній нежива природа встигла підготуватися до подальшого перетворення в живу матерію. На молодих планетах, вік яких не перевищує десятків або сотень мільйонів років, життя неможливе.
- 4) Орбіта планети має бути наближеною до колової, тому що тільки така форма забезпечує одержання постійної кількості радіації протягом багатьох мільйонів років.
- 5) Зоря, навколо якої обертається дана планета, має бути одиночною: навколо подвійних і тим більше потрійних зір існують складні орбіти.

Ведучий. А чи багато таких зір можна знайти у Всесвіті?

Фізик. Я можу навести дані, пропоновані нашими знаменитостями. Як вважає Х. Шеплі (1958), не менше однієї населеної планети припадає на кожний мільярд зір, а у всьому Всесвіті їх до 100 мільйонів. Дж. Мамікуньян і М. Х. Бриггс (1960) наводять цифрові дані: оскільки наша Галактика містить 10^{11} зір, можна вважати, що в Чумацькому Шляху існує 100 000 планет, здатних підтримати життя. Якщо кількість зір у всьому Всесвіті прийняти рівною 10^{22} , то населених планет — 10^{16} . К. Корділевський (1960) відзначає, що з 48 зір, розташованих на відстані менше 16 св. років від Сонця, тільки на трьох — Тау в сузір'ї Кита, Жилок у сузір'ї Ерідана й Епсилон у сузір'ї Індіанця — фізичні умови наближаються до умов на Сонці. Тому не виключено, що на супутниках цих зір існує життя.

Близько 90 % всіх зір нашої Галактики не може мати земно-подібних планет, а отже, і життя. Однак у переважної більшості інших 10 % зір є планети, на яких довгий еволюційний шлях міг призвести до зародження життя (Цицин Ф. А., 1980).

З-поміж 100 найближчих до Сонця зір в 43 є планети, на яких екологічні умови не виключають можливості існування життя; відстань між такими планетами близько 20 св. років (Доул С, 1974).

Для оцінювання числа цивілізацій, що перебувають на такому ж рівні, як і ми, або навіть вищому, застосовують формулу, запропоновану американським ученим Френком Дрейком.

$$n = N \cdot P \cdot E \cdot B \cdot I \cdot T,$$

де n — шукане число цивілізацій у нашій Галактиці; N — загальне число зір у нашій Галактиці; P — частка зір, що мають планетні системи; E — частка планетних систем, у яких хоча б на одній планеті виникло життя; B — частка планети, на якій виникле життя дійшло у своєму розвитку до створення розумних; I — імовірність того, що розвиток життя приведе до виникнення досить високої цивілізації; T — частка цивілізацій, що існують одночасно з нами.

І тільки перший співмножник, що дорівнює 100 млрд зір, може вважатися досить достовірним. Інші визначає кожний дослідник залежно від його міркувань й оптимізму. Але найскладніше із шостим числом. Воно найзагадковіше й потребує пояснення.

Почнемо дещо здалеку. За сучасними поглядами, Всесвіт приблизно 15 млрд років тому почав розширюватися в усі сторони. Продовжує розширюватися він і зараз. Ці 15 млрд років можна розділити умовно на три періоди.

Перші 5 млрд років речовина у Всесвіті поступово групувалася в зоряні системи сучасного типу. Тому вік нашої Галактики оцінюється не в 15, а всього в 10 млрд років. До кінця першого періоду біля зір почали дозрівати перші планети, придатні для життя. Другі 5 млрд років відбувалося дозрівання нових планетних систем, а на планетах першого покоління розвивалося життя. До кінця другого періоду в Галактиці могли почати з'являтися перші цивілізації. Останні 5 млрд років одночасно із еволюцією тривало виникнення нових цивілізацій. До кінця цього періоду з'явилася цивілізація й на нашій планеті.

Таке тлумачення історії Всесвіту означає, що в Галактиці, та й у всьому Всесвіті, до сьогоднішнього часу повинні існувати цивілізації найрізноманітнішого віку.

Радянський астрофізик Н. С. Кардашев вважає еволюцію цивілізацією в принципі не обмеженою. Він запропонував характеризувати рівень їхнього розвитку за енергооснащеністю, розділивши на три типи.

Цивілізації першого типу споживають ту енергію, яку можуть виробити так би мовити «не виходячи з дому», у межах своєї планети. Це цивілізації типу нашої, земної, або могутнішої. Цивілізації другого типу споживають енергію в кількості, порівнянній з енергією, випромінюваною зорею. Це вже цивілізації, що розселилися по своїй планетній системі. Цивілізації третього типу споживають енергію, порівнянну з енергією всієї Галактики. Це гігантські «галактичні імперії», структуру яких важко навіть уявити. Цивілізації другого й третього типів називають суперцивілізаціями, або надцивілізаціями, підкреслюючи при цьому, що вони набагато випередили нас у своєму розвитку.

У формулі Дрейка має бути проставлена «частка цивілізацій», що існують одночасно з нами. Цивілізації виникають поступово, тож вони, цілком ймовірно, не безсмертні й можуть розминутися з нами в часі. Щоб визначити шостий співмножник формули Дрейка, треба знати середню тривалість життя кожної цивілізації. Стосовно цього є різні думки. Називаються цифри від декількох тисяч до мільйонів років. Візьмемо середнє значення, наприклад 100 000 років. Якщо цивілізації виникали й жили по 100 000 років, то протягом 5 млрд років має змінитися 50 000 поколінь. Отже, з нами одночасно може існувати лише одна п'ятдесятитисячна частка від їхньої загальної кількості. Число існуючих цивілізацій, виходячи з формули Дрейка, близько 2000. А оскільки багато з них занадто далекі, то практично є шанси «намацати» лише близько десятка «осередків розуму».

Ідея множинності населених світів відродилася на гребені науково-технічної революції. Проблема позаземних цивілізацій стала науковою. Тож, взявшись за її детальне вивчення, виявилось набагато більше труднощів, ніж здавалося спочатку. На питання «Як зв'язатися?» відповідь начебто вже була: летіти на ракеті, надсилати радіограми. Але одразу ж поставало наступне питання: «Як спілкуватися? Якою мовою? Як досягти взаєморозуміння?» Відповідь можна було дати, тільки знаючи, які «вони». А для цього спершу необхідно було з'ясувати, якими взагалі можуть бути інопланетні розумні істоти. З'ясувалося, що ми по-справжньому не знаємо ще й самих себе, не знаємо, яких форм може набувати

життя взагалі й розумне зокрема. Не знаємо багато того, що необхідно, аби вступати в контакти з «братами по розуму». Проблема позаземних цивілізацій виявилася пов'язаною з тисячами ниток з безліччю земних наук.

У своїй книзі «Людство, Земля, Всесвіт» радянський філософ А. Д. Урсул пише: «Здається, що питання про позаземні цивілізації являє собою... дійсно загальнонаукову проблему, новий феномен сучасної науки, зокрема результат науково-технічної революції... Найбільш інтенсивна робота ведеться переважно в астрономічному, астронавтичному (міжзоряні польоти), біологічному, інформаційному, лінгвістичному й соціологічному аспектах...»

Цю багатогранність проблеми чудово ілюструє хоча б склад учасників першої радянсько-американської конференції з проблеми позаземних цивілізацій, що відбулася 1971 року в Радянському Союзі у Бюракані. В особі 54 учасників конференції були представлені дев'ятнадцять різних наук: радіоастрономія, астрофізика, фізика, електроніка, радіозв'язок, теорія інформації, кібернетика, космонавтика, екзобіологія, генетика, молекулярна біологія, нейробіологія, біофізика, антропологія, історія, археологія, лінгвістика, філософія, футурологія.

Різко загострився інтерес до психології й вивчення законів мислення, до вивчення принципів побудови різних людських мов, сучасних і давніх. Змінилося ставлення до проблеми походження життя, до її розвитку, історії людства, зокрема, до вивчення давніх переказів. Все це має єдину мету — зрозуміти закони розвитку людства й на цій підставі спробувати збагнути закони розвитку розуму у Всесвіті взагалі. А це означає, що філософам належить ще багато працювати.

Наведемо висловлення із цього приводу наших учених.

Радіоастроном Б. Н. Пановкін: *«Тема позаземних цивілізацій — це те «дзеркало», у якому людство розглядає саме себе, дає оцінку своєму місцю у Всесвіті, намагається визначити свою «космічну долю».*

Філософ. А. Д. Урсул: *«...краще, глибше й всебічно пізнати космічну сутність людства, його фундаментальні й загальні характеристики й тенденції — ось та головна сторона теорії ОЦ, що формується, яка зможе принести користь нашому суспільству вже найближчими десятиліттями».*

Проблема позаземних цивілізацій стає найбільшою проблемою ХХ сторіччя.

Письменник Б. В. Ляпунов писав в 1966 році: *«Це найрідкісніший випадок вторгнення в наше реальне життя фантазії найнеймовірнішого розмаху. З подібною проблемою людство не зіштовхувалося ще ніколи. І ніколи не зазнавало воно відчуття космічності свого буття, як нині, коли не планети сусіди, а планети далеких галактик стають ближче».*

Відомий фантаст Іван Єфремов писав: *«Якими є ті, що йдуть зараз нам назустріч? Страшні чи ж прекрасні вони, на наш земний погляд?.. Ніяких мислячих чудовиськ, людиногрибів, людей-восьминогів не повинно бути!»* Якими ж вони, інопланетяни, можуть бути? Що стосовно цього думають учені?

А с т р о н о м. Для того щоб відповісти на це питання, згадаємо, що ми знаємо про основи життя. Життя на Землі стало можливим завдяки дивним властивостям атомів Карбону. Вони чотиривалентні, активні й тому здатні створювати величезні й неймовірно складні, довгі, гіллясті молекули. Тільки такі органічні молекули й спроможні забезпечити ту розмаїтість властивостей, яка необхідна для створення найскладніших організмів. Вуглецеві органічні молекули не витримують високих температур. Від занадто сильного теплового впливу вони розпадаються. Тому жодний організм, створений на основі вуглецю, не може існувати «у вогні». Кремнієвий організм міг би, але, попри те, що кремнію в природі значно більше, ніж вуглецю, основою життя є все ж таки вуглець. Однією з причин можна було б назвати ту, що кремній дуже швидко «зв'язується» з киснем й «вибуває із гри».

Які ж існують загальні закони, яким має підкорятися вуглецеве життя?

1. Будь-який організм — це складна система, що складається з окремих частин. Він не може бути побудований цілком з рідкої або газоподібної речовини, тому що рідини й гази неминуче будуть перемішуватися, міняти форму. Гази, крім того, завжди наближаються до розширення. Забезпечити організму постійну будову може тільки речовина у твердому стані, але повністю із твердої речовини організм складатися не може. Без рідин і газів йому не обійтися. Адже більша частина хімічних реакцій відбувається краще в розчинах. А харчування всіх ділянок організму й обмін речовин з навколишнім середовищем вимагають, щоб в організмі циркулювали рідини й гази. І виходить, що будь-який організм повинен являти собою певну систему каркасів і посудин із твердої речовини. Всі земні істоти — і рос-

лини, і тварини, і мікроби, і комахи — «зроблені» саме за цим принципом.

2. У разі зниження або підвищення температури різні хімічні реакції сповільнюються або прискорюються. У складному організмі швидкість всіх реакцій повинна бути раз і назавжди погоджена між собою. Тому складні організми на Землі розвинули в собі теплокровність, вміння підтримувати в собі постійну температуру незалежно від температури зовнішнього середовища. З космічної точки зору цю властивість потрібно було б назвати «рівнотемпературністю», оскільки у тих жителів, що живуть у прохолодному кліматі, кров «тепліша», натомість у жителів спекотних пустель вона холодніша. Іншими словами, жителів, у яких тіло б охолоджувалося з настанням холодної погоди й нагрівалося у спеку, бути не може.

Живі істоти завжди занурені в яке-небудь навколишнє середовище. Це можуть бути вода, атмосфера, товща ґрунту, поверхня планети разом з вологою й повітрям, разом з іншими живими істотами, що проживають на ній. Живі істоти безупинно обмінюються речовиною з навколишнім середовищем, їдять, п'ють тощо. Метою цього обміну є добування матеріалу для вироблення нових тканин, для росту й добування енергії. Всі ці взаємини живих істот, весь цей обмін називають метаболізмом. Земні форми метаболізму (автотрофний і гетеротрофний спосіб харчування), імовірно, у Всесвіті не єдині. Говорячи про рослини, що харчуються неорганічною їжею — мінеральними речовинами із ґрунту, водою й вуглецем, узятим з вуглекислого газу, що входить до складу повітря, і про тварин, що харчуються тільки готовими органічними речовинами — рослинами й іншими тваринами, слід зазначити, що ці два основних «табори» земних живих істот відрізняються також способами добування енергії. Рослини одержують енергію із сонячних променів, навчившись поглинати її за допомогою хлорофілу. Тварини одержують енергію, вдихаючи кисень повітря, а відтак, поєднуючи його усередині себе із споживаною їжею, тобто ніби спалюючи її. Є на Землі й живі організми — анаеробні, що не користуються ані сонячним світлом, ані киснем. Це різні бактерії. Вони вилучають енергію з реакції шумування. Ця реакція дуже невигідна, енергії дає мало. Можливо, де-небудь у Всесвіті живуть істоти, що харчуються каменями, п'ють аміак, дихають вуглекислотою і вилучають енергію з радіоактив-

них випромінювань й електричних розрядів. Але найголовніше те, що ми впевнені: будь-яка жива істота на будь-якій планеті обов'язково веде який-небудь обмін з навколишнім середовищем. Без метаболізму активного життя бути не може.

3. Розміри живих істот. Згадаємо, що в разі збільшення лінійного розміру предмета в 2 рази його поверхня збільшується в 4 рази, а об'єм — у 8 разів. Для живих істот це має дуже велике значення. Наприклад, кількість тепла, що виробляється в тілі тварини, пропорційна його вазі або об'єму, а інтенсивність теплообміну з навколишнім середовищем пропорційна поверхні тіла. Дрібна тварина в холодну погоду швидше холодне, але ж за спекотної погоди їй легше охолоджуватися, а велика тварина в цей момент буде страждати від перегрівання. Кожному розміру живої істоти відповідає своя конструкція, «свої матеріали». Припустімо, ми у певний спосіб виростили людину-гіганта заввишки 5 метрів, але зробили його за кресленнями звичайної людини з тих же матеріалів. Такий гігант загине. Вага його буде ледве чи не дві тонни, а кістки усього втричі тоншими за діаметром й усього в 9 разів більше за площею перетину. Вони не витримають навантаження, що збільшилося в 30 разів, і зламаються. М'язи, збільшивши силу в 9 разів, не зможуть рухати настільки важке тіло. Серце буде неспроможне качати кров на 2-метрову висоту в голову гіганта, а якби й змогло, тоді лопнули б кровоносні судини, не витримавши підвищеного тиску. Такий гігант мав би бути створений з набагато могутніших волокон і містити інші органи, що працюють цілком інакше.
4. Форма тіла має бути симетричною.

Якщо підсумувати всі міркування, то дійдемо висновку, що: «вони» повинні мати «каркас» із твердої речовини й мати постійну форму. Жити не в океані, не в атмосфері, не в ґрунті, а тільки на твердій поверхні планети. Бути теплокровними. Мати якийсь метаболізм, пристосований до місцевих умов. Мати розмір, тісно пов'язаний із силою ваги на даній планеті, температурою, що там переважає, з кількістю їжі. Якщо планета за розмірами порівнянна із Землею, то слід вважати, що і розумні істоти на ній мають бути заввишки, як ми. Бути симетричними щодо поздовжньої вертикальної площини. Бути прямостоячими, мати дві руки, дві ноги і голову зверху, мати в голові органи почуттів, що відповідають місцевим умовам. Вести колективний спосіб життя.

5 «Вони» можуть, звісно, відрізнятися від нас розміром, пропорціями тіла, кольором шкіри, рисами обличчя. Можуть відрізнятися міцністю скелета, органами травлення, дихання, органами почуттів.

І щоб закінчити цю тему, залишилося зробити істотне застереження. Усе, що говорилося про можливий зовнішній вигляд мешканців інших планет, справедливо лише для таких живих істот, які були «виведені» безпосередньо природою з простіших шляхом еволюції. Але зараз останні досягнення нашої земної, людської науки вже доводять, що очевидно, можливими є принаймні ще два шляхи створення нових форм живих і навіть розумних істот.

Перший шлях — генна інженерія, другий — кібернетика. Їхні перспективи величезні. Однак говорити щось конкретне поки ще зарано.

В е д у ч и й. Одним із питань, яке нещодавно постало людством, виявилось питання винаходу такої космічної техніки, що дозволила б здійснити міжзоряні перельоти на відстані декількох десятків і більше світлових років. Проектів таких космічних кораблів існує досить багато. І ми хотіли б ознайомити вас із деякими з них.

В е д у ч и й. Ніхто не знає, чи існує позаземне життя. В. С. Троцький, член-кореспондент АН СРСР говорив: «Сьогодні ми не знаємо, чи існують позаземні цивілізації. І ми цього ніколи не дізнаємося, якщо не перейдемо від слів до справи». 8 квітня 1960 року американський астроном Ф. Дрейк розпочав радіовивчення неба з метою встановлення контактів з позаземними цивілізаціями. Радіотелескоп був спрямований на Тау Кита. Нічого схожого на розумні сигнали не було виявлено. Потім телескоп був переведений на Епсилон Еридана (дві зорі, схожі на наше Сонце). І тут... прилади самописа почали писати виразний ритмічний сигнал. Вісім ударів у секунду. Помилка? Несправність? Ні, усе в порядку. Через кілька хвилин сигнал припинився. Через два тижні сигнал знову збігся з періодом спостережень. Вирішили перевірити й відвели антену від зорі убік. Сигнал продовжував надходити. Отже, була помилка. Просто радіотелескоп випадково перехопив шифровану земну радіопередачу, що йде з літака. Але Дрейк не був збентежений невдачею й продовжив свої спостереження.

1964 року сталася подія, що захопила на деякий час всіх, хто цікавився даною проблемою. Було виявлено, що два радіоджерела, відомі за каталогами як СТА-21 і СТА-102, виявилися точковими й мали спектр випромінювання, дуже схожий на очікуваний

штучний. А головне те, що через якийсь час група московських астрономів установила, що випромінювання СТА-102 періодично змінюється за силою. Воно ніби модульоване й передає то тире, то паузу такої самої довжини. У журналах зчинився галас: «Де ти, син неба?», «Виявлено штучне джерело радіовипромінювання», «Інопланетяни нам шлють привіт!»

Є гарна приказка: «Якщо ти дуже чекаєш на друга, не приймай стукіт свого серця за тупіт його коня». Через певний час з'ясувалося, що СТА-102 — це природне змінне радіоджерело. З'ясувалося, що існує цілий клас таких джерел.

1965 року чехословацький астроном Пешек запропонував називати проблему зв'язку з інопланетними цивілізаціями «проблемою СЕТІ», скорочено від англійських слів «Communication with Extraterrestrial Intelligence», що у перекладі означає «зв'язок з інопланетним розумом». Назва ця швидко поширилася, і її почали застосовувати в усьому світі.

6 серпня 1967 року аспірантка Жакелін Белл Кембриджського університету вела спостереження в сузір'ї Лисички. І раптом виявила, що самопис нотує чіткі сигнали. Не надаючи цьому особливого значення й згадавши помилку Дрейка, вирішили, що сигнал цього разу теж земного походження. Але сигнали продовжували надходити з однієї й тієї ж точки неба, у якій, до речі, ніякої зорі не було видно. Під найсуворішим секретом шеф аспірантки Х'юїш сповістив про це відкриття найближчим співробітникам. І тільки 24 лютого 1968 року ці дані було опубліковано. Воно справило приголомшливий ефект. Але серед астрономів більше скептиків, ніж мрійників. Вони почали посилено шукати щось в небі, й наприкінці року було відкрито ще півтора десятка подібних об'єктів. Їх назвали пульсарами. Вони виявилися надзвичайно цікавими, швидко обертовими, крихітними й тому невидимими нейтронними зорями. Вони жодною мірою не стосувалися позаземних цивілізацій.

Урок 35

Тема. Астрономія — передовий рубіж природознавства. Новини астрономічної науки

Цілі:

- *навчальна:* узагальнити знання учнів з курсу астрономії, ознайомити учнів з новими відкриттями в астрономії XXI сторіччя, показати роль астрономії та космонавтики в розв'язанні глобальних проблем людства;
- *розвивальна:* удосконалити вміння працювати з науково-популярною й довідковою літературою, готувати доповіді, виступати, дискутувати, відстоювати свою позицію;
- *виховна:* продовжити формування наукового світогляду в ході обговорення матеріалу про сучасні проблеми астрономії, актуальні питання природознавства.
- *Учні повинні знати:* нові відкриття в астрономії, напрями розвитку астрономії XXI сторіччя.
- *Учні повинні вміти:* формулювати свої висновки щодо будови й еволюції Всесвіту, обґрунтовувати необхідність засвоєння астрономічних знань, використання їх у подальшому житті.

Міжпредметні зв'язки: біологія, хімія, фізика, філософія.

Демонстрації: зображення різноманітних об'єктів Всесвіту.

Обладнання: комп'ютер; мультимедійний проектор, екран; CD-презентація «Астрономія XXI століття».

План заняття (I варіант)

Час	Метод навчання	Зміст роботи	Наочне приладдя, ТЗН
0,5 хв	Бесіда	Організаційний момент Перевірка готовності учнів до уроку. Стимулювання діяльності учнів, забезпечення їхньої загальної готовності, забезпечення своєчасного й організованого початку уроку	
2 хв	Бесіда	Мотивація навчальної діяльності	
43 хв	Лекція	Пояснення нового матеріалу 1. Наукові проблеми XXI сторіччя. 2. Питання Сендіджа	
2 хв		Підбиття підсумків уроку	

ХІД УРОКУ

I. ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ МОМЕНТ

II. МОТИВАЦІЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

III. ПОЯСНЕННЯ НОВОГО МАТЕРІАЛУ

Коли відбувається зміна століть, а тим більше тисячоліть, завжди хочеться підбити підсумки і скласти плани на майбутнє.

І все ж прогнозувати розвиток науки — справа дуже невдячна. Як правило, прогнози не здійснюються. Хрестоматійним прикладом можуть служити заяви Огюста Канта, що «ніколи, жодними способами ми не зможемо вивчити» хімічний склад небесних тіл, що «будь-яке знання істинних середніх температур зір неминуче має бути назавжди приховане від нас». Але через кілька років виник спектральний аналіз, що дозволив визначати ці характеристики. Загальновідома історія з молодим Максом Планком, старший колега якого (Філіпп Жоллі) не рекомендував йому займатися теоретичною фізикою через цілковиту безперспективність такого заняття, оскільки «фізика вже в основному закінчена»...

Однак є приклади й успішних прогнозів розвитку науки. Найвідоміший з них, мабуть, доповідь Давида Гільберта, прочитана на Міжнародному конгресі математиків (1900) у Парижі, де автор сформулював 23 проблеми, розв'язання яких, на його думку, мало вплинути на розвиток математики в XX ст. Спроба Гільберта виявилася надзвичайно плідною.

1. Наукові проблеми XXI сторіччя

Іншою дуже цікавою спробою виділити ключові питання розвитку науки (у даному випадку фізики і астрофізики) став список «особливо важливих і цікавих» проблем, який доповнює вже понад 30 років В. Л. Гінзбург. На його думку, ключові завдання (природно, які змінюються з часом) повинні формувати якийсь «фізичний мінімум», з яким має бути ознайомлений кожен дослідник. Його список включає і низку астрофізичних завдань, проте їх небагато (10) і вони сформульовані в дуже загальній формі. Проблеми, виділені Гінзбургом, такі:

1. Загальна теорія відносності — її експериментальна перевірка.
2. Гравітаційні хвилі, їх детектування.
3. Космологічна проблема. Інфляція. Λ-член і «квінтесенція» (темна енергія). Зв'язок між космологією і фізикою високих енергій.
4. Нейтронні зорі і пульсари. Наднові зорі.
5. Чорні діри. Космічні струни.
6. Квасари і ядра галактик. Утворення галактик.
7. Темна матерія (прихована маса) і її детектування.
8. Космічні промені надвисокої енергії, їх походження.
9. Гамма-сплески. Гіпернові.
10. Нейтрино у фізиці та астрономії. Нейтринні осциляції.

Наведені напрями досліджень, безсумнівно, фундаментальні і дуже актуальні. Однак вони відображають точку зору фізика на астрономію. А які завдання вважають найбільш актуальними самі астрономи?

2. Питання Сендіджа

Сендідж — аспірант В. Бааде, співробітник Едвіна Габбла, працював з Мартіном Шварцшильдом. Це ім'я міцно пов'язано з рядом найбільших досягнень спостережної космології, з виникненням сучасних уявлень про формування та еволюції зір і галактик, із сучасною шкалою відстаней у Всесвіті.

1997 року на Канарських островах відбулася незвичайна наукова конференція. На ній було лише 11 доповідачів, але яких! Всі вони були (і є), за визначенням організаторів конференції, «найбільшими маестро» в різних галузях астрономії. Кожен маестро прочитав велику оглядову лекцію, присвячену найбільш цікавим нерозв'язаним проблемам у галузі астрономії. Тематика 11 доповідей охопила майже всі розділи сучасної астрономії, і тому опубліковані праці цієї конференції мали доволі промовисту назву «Всесвіт у цілому». Організатори конференції, очевидно, сподівалися, що доповідачі («колективний Гільберт») хоча б частково зможуть зробити для розвитку астрономії те, що зробив Гільберт для математики майже 100 років тому.

Конференція була відкрита доповіддю Сендіджа «Астрономічні завдання на наступні 30 років». Про що ж ішлося у його доповіді?

Усвідомлено імітуючи Гільберта, Сендідж сформулював 23 проблеми, розв'язання яких, можливо, буде знайдено протягом наступних 30 років. Тим самим Сендідж пішов не від спроби передбачити нові проблеми та явища, а вчинив більш обережно і виділив те, що, на його думку, скоро буде прояснено. Ці проблеми були згруповані ним у три розділи, що стосуються загальних властивостей галактик, нашої Галактики — Чумацького Шляху — і спостережної космології. Розглянемо ці проблеми докладніше. (Слід зазначити, що за минулі після доповіді Сендіджа кілька років виникли нові завдання, пов'язані, зокрема, з приголомшливими успіхами космології, які, природно, не могли бути включені в її перелік.)

Габблівська класифікація галактик

Перша група завдань присвячена знаменитій морфологічній класифікації галактик, запропонованій Габблом у 20-х роках минулого століття (рис. 35.1). Ця класифікація (її прообраз, до речі,

можна виявити ще у Гершеля, за 150 років до Габбла) поділяє галактики на еліптичні, спіральні й неправильні. Еліптичні галактики, у свою чергу, розбиваються на підтипи залежно від спостережної величини стиснення (сплюснутості), а спіральні — за особливостями спіральних віток (структурністю, ступенем закрученості) і за співвідношенням світностей зоряного диска і центрального зоряного згущення (балджа).

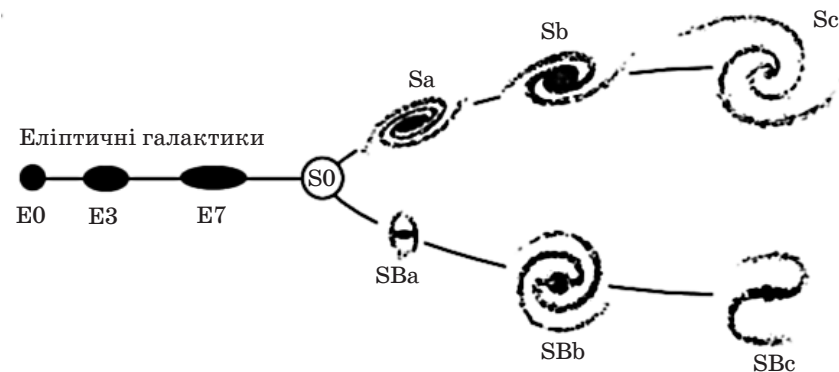


Рис. 35.1. Габблівська послідовність галактик

Класифікація Габбла виникла як суто морфологічна (пов'язана з формою) і була заснована на тому, як виглядають галактики в оптичному діапазоні. Пізніше, однак, з'ясувалося, що «зовнішній вигляд» галактик пов'язаний з їх фізичними характеристиками — масою, світністю, кількістю атомарного і молекулярного газу, типом зоряного населення, кількістю пилу, темпом народження зір тощо. Цей зв'язок, звичайно, має статистичний характер, але простежується цілком чітко.

Сендідж сформулював такі питання:

- Що призводить до виникнення хабблівської послідовності: еволюція галактик чи початкові умови під час їх формування?
- Які параметри змінюються, а які залишаються незмінними вздовж цієї послідовності?
- У чому причина розкиду характеристик галактик, які мають один хабблівський тип?
- Від чого залежить спіральна структура (роль обертання галактик)?
- Чи є початковий темп зореутворення основним механізмом, що визначає тип галактики?

- Яка космогонія співвідношення «морфологія—густина»?
- У чому роль (якщо вона є) злиття галактик?
- Яке походження і вік пилу (зокрема, роль зір на еволюційній стадії асимптотичної вітки гігантів)?

Якщо ці завдання коротко підсумувати, то вони зводяться до такого фундаментального питання: як сформувалися основні масштабні характеристики галактик, що нас оточують? Як не дивно, це основне для позагалактичної астрономії запитання ще не цілком зрозуміле. Раніше вважалося, що галактики формуються на ранніх стадіях еволюції Всесвіту і їх основні спостережувані на сьогодні властивості однозначно визначаються характеристиками протооб'єкта (наприклад, повною масою і кутовим моментом, що описує обертання).

Пізніше склався альтернативний сценарій: властивості галактик формуються в процесі їх еволюції, у ході якої вони активно взаємодіють зі своїм оточенням (міжгалактичним середовищем, іншими галактиками). Останніми роками з'явилися факти, які дуже вагомо свідчать на користь такого підходу. Наприклад, виявилось, що частка взаємодіючих галактик із збільшенням червоного зміщення, тобто під час розгляду більш ранніх епох в еволюції Всесвіту, доволі швидко зростає. Так, коли Всесвіт був удвічі молодшим, від третини до половини всіх галактик, імовірно, перебували в стані сильного зовнішнього гравітаційного збурення або в процесі злиття із собі подібними. Тому безсумнівно, що взаємодії і злиття (сьома проблема Сендіджа) відігравали важливу роль у формуванні галактик.

Існує навіть точка зору, що хабблівська послідовність — це послідовність зменшення (зліва направо на рис. 35.1) числа актів злиттів і «струсів» в історії галактик. Наприклад, еліптичні галактики можуть формуватися в процесі повного злиття спіральних галактик з порівнянними масами. Добре помітні балджі — центральні, майже сферичні зоряні згущення — спіральних галактик ранніх типів могли виникнути у разі акреції на суто дискову галактику маломасивних супутників або ж за рахунок внутрішніх процесів, ініційованих зовнішнім збуренням. Спіралі пізніх типів (Sc, SBc), можливо, мають найбільш спокійну, незбурену історію.

Один із найважливіших результатів останніх років — це висновок, що хабблівська послідовність галактик сформувалася відносно недавно. Виявилось, що 5–7 млрд років тому у спіральних галактик дуже рідко зустрічалися такі важливі для морфологічної

класифікації Габбла структурні елементи, як бари* (див. нижню вітку галактик на рис. 35.1: бар — це видовжене утворення у центральній області галактики, від кінців якого зазвичай відходять спіральні вітки), і добре виражені великомасштабні спіральні вітки (див. зображення далеких галактик на рис. 35.2). Габблівська послідовність не старша від Сонячної системи?!



Рис. 35. 2. Фрагмент зображення глибокого поля Космічного телескопа ім. Габбла

Остаточно питання про походження структури оточуючих нас галактик поки не розв'язане. Очевидно, і початкові умови, і подальша еволюція впливають на характеристики галактик, проте співвідношення між цими чинниками залишається неясним. Імовірно, воно різне для галактик різних морфологічних типів, мас і просторового оточення.

Зоряна еволюція і Галактика

Завдання, присвячені структурі і походженню Чумацького Шляху, підсумовані у другій групі проблем, дослідження яких повинно забезпечити нас такою інформацією:

* Бар і балдж розрізняються за розподілом густини, складом зір, домінуючим типом їх рухів тощо.

- розподіли віку, кінематики та хімічного складу для різних підсистем Галактики;
- космогонія цих розподілів;
- послідовність подій під час формування Чумацького Шляху (як виглядала Галактика на ранніх стадіях формування);
- співвідношення «вік—металічність» (відносний вміст важких елементів) для різних областей Галактики;
- розподіл об'єктів від зір до каміння за їх масами;
- зоряні обчислення для картографування гало і товстого диска.

Дані проблеми трохи більш конкретні і вузькопрофесійні, ніж завдання попередньої і наступних груп. Це і зрозуміло — ми перебуваємо всередині нашої зоряної системи, і вона, принаймні найближчі околиці Сонця, доступна нашому вивченню в набагато більших деталях. З іншого боку, структура Галактики загалом, характеристики її диска, балджа, спіральних віток відомі гірше (навіть кількість віток донині викликає суперечності), ніж у багатьох інших галактик. Досліджуючи один листочок і невелику частину гілки, ми намагаємося скласти уявлення про все дерево!

Останніми роками у дослідженні Чумацького Шляху досягнуто значного прогресу. Це пов'язано в першу чергу з роботою космічних апаратів. Наприклад, обсерваторія «HIPPARCOS» дозволила оцінити відстані до сотень тисяч зір у межах декількох сотень парсек від Сонця. Структура найближчих околиць Галактики стала набагато яснішою. Спостереження в інфрачервоному діапазоні на супутнику «COBE» вперше дали уявлення про те, як виглядає Чумацький Шлях загалом (рис. 35.3). Зокрема, виявилось, що центральна область Галактики являє собою видовжену структуру (можливо, бар), велика вісь якої витягнута майже в напрямку до нашого Сонця.



Рис. 35.3. Зображення центральної області Галактики за даними супутника «COBE»

Проте одного із найгучніших успіхів було досягнуто під час наземних спостережень. Під час дослідження зір зовнішніх областей балджа група англійських астрономів 1994 року відкрила карли-

кову галактику, що знаходиться практично в межах Чумацького Шляху на відстані 16 кпк від його центра.

Ця галактика сильно деформована приливним збуренням Чумацького Шляху і витягнута у колосальну дугу, майже перпендикулярну до його площини. Згадаймо про існування двох інших давно відомих супутників, Велику та Малу Магелланові Хмари, про гігантський газовий хвіст, що з'єднує їх із нашою зоряною системою (Магеллановий Потік), і ми отримаємо чітку картину «будівництва» Чумацького Шляху, що триває й досі.

Всесвіт: практична космологія

Реальність розширення Всесвіту

Чи справді Всесвіт розширюється? Запитання звучить почасти несподівано. Вже не одне покоління дослідників виросло з уявленням про те, що ми живемо у Всесвіті, який розширюється. Розширення Всесвіту служить найпростішим поясненням так званого червоного зсуву спектрів позагалактичних об'єктів. Нестационарність Всесвіту природним чином виникає і в теоретичних моделях.

Однак, як це не дивно, до недавнього часу були відсутні прямі, однозначно інтерпретовані докази реальності космологічного розширення. Сендідж запропонував розглянути три таких спостережуваних тести.

Перший тест (тест Толмана) полягає у вимірюванні поверхневих яркостей далеких об'єктів. Як було доведено ще в 30-х роках минулого століття, у просторі, що розширюється, поверхнева яскравість об'єкта зменшується зі зростанням червоного зміщення z як $(1+z)^4$. (Дуже важливо, що в альтернативних моделях, які пояснюють спостережуване червоне зміщення, наприклад, «втомою» фотонів і т. п., передбачена інша залежність яскравості від z .) Цю перевірку здійснив сам Сендідж. У недавньому циклі робіт він розглянув еліптичні галактики в скупченнях і знайшов, що їх спостережувана поверхнева яскравість зменшується із z відповідно до того, як це і повинно бути для Всесвіту, який реально розширюється.

Другий тест полягає у вимірюванні ефекту уповільнення часу у далеких об'єктів. Суть дуже проста: чим далі від нас знаходиться об'єкт в просторі, який розширюється, тим із більшою швидкістю він від нас віддаляється. Отже, тривалість подібних процесів поблизу нас і в далеких областях Всесвіту повинна бути різною. Нам повинно здаватися, що в разі червоного зміщення z усе триває в $1+z$ разів довше. Що ж взяти за такий «стандартний» процес,

тривалість якого можна вивчати на різних відстанях від нас? Як виявилося, для цього найкраще підходять криві блиску наднових першого типу (SN Ia), які відрізняються чудовою подібністю як за формою, так і за тривалістю. Останніми роками (вже після обговорюваної тут доповіді Сендіджа) були накопичені дані для декількох десятків далеких наднових зір. Дослідження їх кривих блиску із відповідною точністю підтвердило існування очікуваного внаслідок розширення Всесвіту ефекту уповільнення часу.

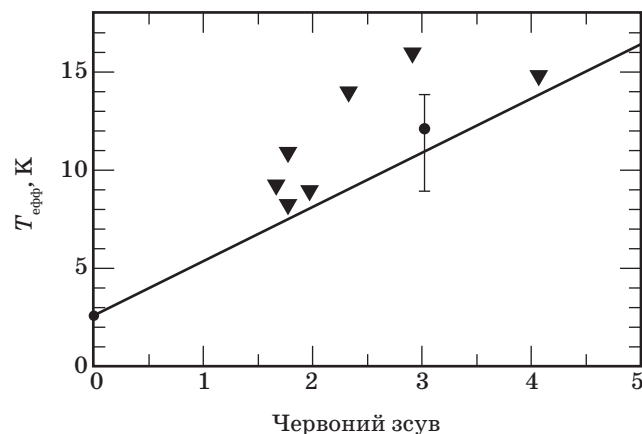


Рис. 35.4. Температура реліктового випромінювання за різних червоних зсувах. Трикутниками показані верхні межі за даними різних авторів. Чорним кружком при $z = 3,025$ зображена оцінка температури. Безперервна пряма — очікувана залежність для моделі Всесвіту, який розширюється

Третій тест передбачає вимірювання температури реліктового випромінювання в різні епохи еволюції Всесвіту, тобто за різних z . Стандартна модель Всесвіту, який розширюється, передбачає, що температура фонових випромінювання залежно від зміни z має зростати пропорційно $1+z$ (пряма лінія на рис. 35.4). Наприклад, при $z=3$ його температура повинна була бути не 2,7 К, як зараз (точка при $Z=0$ на рисунку), а близько 11 К. Але як оцінити температуру реліктового випромінювання в минулі епохи? На допомогу приходить детальне дослідження спектрів далеких галактик. Якщо дійсно існує фонове випромінювання більш високої, ніж зараз, температури, у спектрах віддалених об'єктів можуть з'явитися лінії, збудження яких було б неможливе за відсутності додаткового джерела енергії. Такий підхід дозволив останніми роками на основі аналізу абсорбційних спектрів квазарів отримати перші реальні оцінки

температури реліктового випромінювання (див. рис. 35.4; значенню $Z=2$ відповідає вік Всесвіту, приблизно дорівнює чверті нинішнього, а $Z=3$ — близько 1/7–1/8 його частини). Усі ці оцінки узгоджуються з моделлю гарячого Всесвіту, який розширюється.

Еволюція згодом (первинні галактики)

Пошук первинних, тобто молодих галактик, що досі перебувають на стадії формування, протягом тривалого часу для позагалактичних астрономів був «походом за святим Граалем». Які об'єкти тільки не ототожнювали з протогалактиками! Квазари, радіогалактики, ультрафіолетові в інфрачервоному діапазоні об'єкти, галактики з низькою поверхневою яскравістю... І лише упродовж останніх років подібні об'єкти були, нарешті, виявлені. Допоміг загальний розвиток спостережувальної техніки, поява класу 8–10-метрових наземних телескопів, а також використання під час пошуку природних гравітаційних лінз — далеких скупчень галактик.

Гравітаційне поле скупчення може посилити випромінювання розташованої за ним галактики і побудувати її спотворене зображення. Утворені таким способом зображення найчастіше виділяються у вигляді слабких дуг, що оточують центр скупчення (див. приклад на рис. 35.5). Спектральне дослідження однієї з таких дуг і дозволило виявити найвіддаленішу відому на сьогодні (літо 2002 р.) галактику з червоним зміщенням $z = 6,56$.



Рис. 35.5. Репродукція знімка скупчення галактик Abell 2218, отриманого на Космічному телескопі ім. Габбла. Слабкі дугоподібні деталі — зображення галактик, розташованих за цим скупченням

Об'єктів із червоними зміщеннями, що перевищують 5, відомо вже понад десять. Їхній вік, відлічуваний від початку космологічного розширення, становить менше 10 % від поточного віку Всесві-

ту, і їх повною мірою можна вважати молодими галактиками, які тільки формуються. Як виявилось, такі молоді галактики є дуже компактними (характерний розмір ~ 1 клк), яскравими (імовірно, за рахунок дуже інтенсивного темпу народження нових зір) й асиметричними утвореннями. Вивчення цих об'єктів тільки починається, і те, на що вони перетворяться в ході подальшої еволюції, ще не цілком зрозуміло. Вони можуть являти собою, наприклад, центральні галактичні області (балджі), що формуються, навколо яких пізніше виникне більш протяжна дискова складова. Можливо також, що при $z > 5$ ми виявили не безпосередніх «предків» сучасних галактик, а протогалактичні будівельні блоки, з яких у процесі ієрархічних злиттів надалі будуть створені звичні галактики.

Шкала відстаней

Шкала відстаней у Всесвіті була одним із ключових напрямів досліджень астрономії XX ст. і частково залишається таким і зараз. Найважливішим завданням шкали відстаней є визначення значення сталої Габбла (H). Значення H характеризує поточний темп розширення Всесвіту і дозволяє знаходити відстані до галактик за спостережною швидкістю їх віддалення від нас. Протягом кількох десятиліть точність оцінки H була не вищою від 50 %. Через це виникали різні невизначеності як під час вирішення космологічних задач, так і під час дослідження фізичних властивостей позагалактичних об'єктів.

Останніми роками завдяки роботі позаатмосферних обсерваторій величину H вдалося, врешті-решт, конкретизувати. Космічні спостереження дозволили виділити в багатьох досить близьких галактиках особливий клас яскравих зір — цефеїди. Цефеїди («маяки» Всесвіту) демонструють чудову залежність між періодом коливань блиску й світністю. Дослідивши криві блиску цефеїд, можна з великою точністю ($1'' \sim 10\%$) знайти відстані до них і, отже, до галактик, у яких вони знаходяться. За шкалою відстаней, яка задає ними, можна прокалібрувати інші індикатори відстаней (зараз використовують понад десять вторинних індикаторів) і поширити цю шкалу на великі відстані. У результаті багаторічної роботи багатьох груп дослідників отримано, що значення H наближується до $70 \text{ км} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{Мпс}^{-1}$ з похибкою близько $10 \text{ км} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{Мпс}^{-1}$.

Параметр уповільнення

Доповідь про проблеми астрономії Сендідж зробив 1997 р., тобто за рік до відкриття прискорення космологічного розширення

Всесвіту. До цього наглядова космологія була, як іноді писали, «наукою про два числа». Одним із цих чисел була вже згадувана стала Габбла, другим — параметр уповільнення, що характеризує густину речовини у Всесвіті. Ці два числа, як вважалося, повністю визначають геометрію та еволюцію Всесвіту.

1998 і 1999 рр. дві групи дослідників оголосили, що дані про свіність далеких наднових першого типу (SN Ia) свідчать про існування космологічного прискорення або, іншими словами, про ненульове значення введеного Ейнштейном Λ -члена. Пізніше цей висновок було підтверджено незалежним чином завдяки даним про анізотропію реліктового випромінювання та про великомасштабний розподіл галактик. Як виявилось, ми живемо в плоскому евклідовому Всесвіті, основний внесок у густину якого ($\sim 2/3$) робить космічний вакуум. Внесок густини звичайної матерії у поєднанні із «традиційною» прихованою масою становить лише близько $1/3$. Мало нам таємничої прихованої маси, так відкрито ще щось більш дивне — вакуум, темна енергія, глобальна «антигравітація»!

Отже, вісімнадцяте завдання Сендіджа в його найпростішому формулюванні, мабуть, вже вирішене, і цей розв'язок призвів до зміни уявлень про те, як влаштований Всесвіт. Як і у випадку із завданням 15, успіх було досягнуто традиційними астрономічними методами (фотометрія і спектроскопія SN Ia).

Надлишок галактик

Ця проблема відома з кінця 80-х — початку 90-х років. Тоді порахували слабкі галактики, які виділяли в глибоких майданчиках (тобто на зображеннях обраних областей неба, отриманих з дуже великими експозиціями, коли видно дуже слабкі і, природно, далекі об'єкти). За видимої зоряної величини в кольоровій смузі B , більшій за $20m$, спостережуване число об'єктів перевищило очікуване для моделей еволюції галактик, за яких їх число не змінюється з часом. Відзначимо той факт, що надлишок виявляється тільки під час підрахунку в блакитних оптичних фільтрах, а в близькому інфрачервоному діапазоні він майже не простежується. Тому проблему часто називають проблемою надлишку слабких блакитних галактик.

Існування надлишку слабких блакитних галактик було, принаймні частково, з'ясовано спостереженнями на Космічному телескопі ім. Габбла. Висока кутова роздільність, що забезпечується під час космічних спостережень, дає змогу досліджувати морфологію далеких галактик. Виявилось, що спостережуваний надлишок

галактик пов'язаний із морфологічно пекулярними, неправильними об'єктами, що зливаються. З іншого боку, давно відомо, що взаємодії і злиття галактик часто призводять до посилення темпу зореутворення в них і колір їх стає більш блакитним. Отже, проблема надлишку блакитних галактик виявилася пов'язаною зі швидким зростанням до $z \sim 1$ темпу взаємодій і злиттів між галактиками (див. вище обговорення першої групи завдань).

Природа прихованої маси

Природа прихованої (темної) маси, вказівки на існування якої були отримані ще в першій половині минулого століття, все ще залишається невідомою. Стосовно цієї теми написано величезну кількість науково-популярних статей і книг, висловлено безліч припущень і гіпотез.

Склалася дуже рідкісна в історії науки ситуація. Практично всі погоджуються, що прихована маса існує. Вона проявляє себе в різних масштабах через гравітаційний вплив на об'єкти, доступні для спостережень, — зорі, газ, галактики. Без усяюдисущої прихованої маси не пояснити ані плоских протяжних кривих обертання галактик, ані динаміки карликових супутників в околицях масивних галактик, ані руху галактик у групах та скупченнях, ані гравітаційного лінзування далекими скупченнями, ані формування великомасштабної структури Всесвіту, ані рентгенівських корон скупчень галактик, а також безлічі інших, абсолютно незалежних явищ. Але ось уже кілька десятиліть її не вдається ідентифікувати.

Невідома навіть форма, у якій перебуває ця прихована (від сучасних спостережень) маса. Вона може бути у вигляді звичайної, баріонної матерії (зір низької світності, залишків зоряної еволюції, холодного молекулярного газу...) або в небаріонній формі (наприклад, нейтрино, аксіонів або гіпотетичних слабовзаємодіючих масивних частинок — WIMP). Можливо, у різних масштабах прихована маса має різну природу. Наприклад, є непрямі вказівки на те, що в межах галактик розподіл прихованої маси може бути пов'язаний з розподілом звичайної речовини (зір і газу), отже, вона швидше за все має баріонну природу. Зовнішні протяжні корони галактик можуть складатися з небаріонної речовини. Однак все це тільки припущення...

Відхилення від космологічного розширення

Всесвіт розширюється. Чим далі від нас знаходиться галактика, тим із більшою швидкістю вона віддаляється. Наскільки істотними

можуть бути відхилення швидкостей галактик від регулярного космологічного розширення, від «хабблівського потоку»? Це важливо з різних точок зору. Наприклад, це обмежує точність оцінювання відстані за законом Габбла. З іншого боку, відхилення від розширення можуть індукуватися великомасштабними флуктуаціями розподілу густини, а значить, дослідження пекулярних швидкостей галактик є важливим космологічним тестом.

За останні кілька років, після того як були накопичені дані про відстані і швидкості для кількох десятків найближчих до нас галактик, виявлено, що регулярне хабблівське розширення простежується не тільки за далекими галактиками, але й за об'єктами місцевої групи, тобто аж до 1,5–2 Мпк. Але на цих масштабах розподіл галактик дуже неоднорідний, і, якщо спостережений розподіл маси в Місцевому обсязі впливає на кінематику галактик, близькі об'єкти не повинні показувати настільки регулярне розширення! Отже, рух галактик, близьких до нас, слабо пов'язаний з їх просторовим розподілом, тож кінематикою галактик керує не їх маса, а щось інше. Що ж це означає? Очевидно, йдеться про космологічний вакуум, чия густина домінує в навколишньому світі. Сучасна космологія починається не із сотень мегапарсек, а відразу за межами нашої Галактики!

- Склад і походження міжгалактичного середовища (газу, пилу, каміння між галактиками).
- Час утворення великомасштабної структури Всесвіту (чи є скупчення і групи галактик старими або молодими).

Останні два завдання цілком зрозумілі. Перше присвячене тому, що знаходиться поза галактиками, друге — часу утворення галактичних структур. Нещодавне виявлення можливого протоскупчення галактик з $z = 4,1$ відсуває цей час на відносно ранні етапи еволюції Всесвіту.

Крапку не ставимо

Вище було наведено список 23 проблем Сендіджа і коротко розглянуто деякі з них. Окремі з цих завдань вже частково розв'язано, робота над іншими йде повним ходом. (Нагадаємо, що Сендідж підсумовував не просто цікаві нерозв'язані проблеми, а ті, вирішення яких, на його думку, можливо, буде знайдено протягом 30 років.)

Цей список, звичайно, суб'єктивний і відображає точку зору на проблеми астрономії лише конкретного дослідника. Інший астроном або фізик подасть свій список завдань, хтось ще — третій

список і т. ін. Наприклад, Ігор Дмитрович Новіков під час обговорення доповіді Сендіджа сформулював п'ять загальних проблем, що постали перед сучасною астрономією, астрофізикою і фізикою. Ці проблеми такі: походження Всесвіту; структура Всесвіту на найбільших масштабах; походження матерії у Всесвіті; що передувало початку розширення Всесвіту; яке майбутнє Всесвіту. Ці проблеми колосальні й багатогранні.

Говорячи загалом, астрономія зараз переживає період, порівнянний, можливо, лише із 20-ми роками минулого століття (відкриття галактик, розширення Всесвіту) або із 60-ми (виявлення квазарів, пульсарів, реліктового випромінювання). Змінюється загальна картина Всесвіту, вперше галактики стали доступними для спостережень, відкривають планети біля інших зір... Як сказав С. Фолл, через одне-два десятиліття ми будемо озиратися на нинішні роки з ностальгією, оскільки саме в наш час постає історія, відкривається те, що потрапить потім в усі підручники.

І хочеться закінчити лекцію тривіальним твердженням, що астрономія — щаслива наука. Її завдання настільки грандіозні, а об'єкти досліджень настільки красиві й різноманітні (погляньте на знімки з Космічного телескопа ім. Габбла!), що завжди знаходиться романтики, які, незважаючи на відсутність матеріальної вигоди, будуть присвячувати їй усі свої сили...

ЗМІСТ

Від автора		3
Урок 1	Предмет астрономії та його особливості. Задачі астрономії на різних історичних етапах. Галузі астрономії. Зв'язок астрономії з іншими науками. Найвидатніші творці астрономії. Розвиток астрономічної науки в Україні. Астрономічні знання і розвиток цивілізації.	4
Урок 2/I-1	Зоряне небо та небесна сфера. Сузір'я та походження їхніх назв. Поділ зоряного неба на сузір'я. Найвідоміші сузір'я неба та північної сфери. Зміна вигляду зоряного неба в різні пори року. Орієнтування за Сонцем, сузір'ями і Полярною зорею на місцевості і за часом	16
Урок 3/I-2	Видимі зоряні величини. Найяскравіші зорі на небі та в північній півсфері. Одиниці відстаней в астрономії. Абсолютна зоряна величина	28
Урок 4/I-3	Точки і лінії небесної сфери. Залежність висоти полюса світу від географічної широти місця спостереження. Горизонтальна та екваторіальна системи координат. Явища, пов'язані з добовим обертанням Землі: схід та захід світил, кульмінації світил (моменти кульмінації та висоти). Зоряні карти	37
Урок 5/I-4	Видимий рух Сонця. Екліптика. Невідповідність астрологічних уявлень знанням про екліптику. Псевдонауковість астрології, критика астрологічних поглядів і передбачень. Практична робота № 1	51
Урок 6/I-5	Принципи вимірювання часу (шкали вимірювання і системи відліку). Зоряний час. Сонячний час: справжній і середній. Рівняння часу. Шкала всесвітнього часу. Шкала атомного часу. Координований всесвітній час. Системи відліку: місцевий, всесвітній, поясний час та зв'язок між ними. Лінія зміни дат. Літній та зимовий час	61
Урок 7/I-6	Календар. Сонячні, місячні та місячно-сонячні календарі. Юліанський та григоріанський календарі. Практична робота № 2 «Визначення максимальної різниці місцевого часу для шкільного подвір'я та класної кімнати»	73
Урок 8/I-7	Системи світу Птолемея і М. Коперника. Закони Кеплера та їх зв'язок із законами Ньютона. Елементи орбіт та їх геометричне подання. Узагальнення законів Кеплера. Космічні швидкості на поверхнях небесних тіл та у просторі. Рух штучних супутників і автоматичних міжпланетних станцій	87

Урок 9/I–9	Видимий рух планет. Планетні конфігурації, синодичні та сидеричні періоди. Використання законів руху для визначення відстаней до тіл Сонячної системи, а також розмірів і мас небесних тіл 98
Урок 10/I–9	Сонячні та місячні затемнення, частота і умови видимості. Припливні явища 110
Урок 11/II–1	Електромагнітний спектр. Вікна прозорості атмосфери Землі. Розвиток всехвильової астрономії: гамма-, рентгенівська, ультрафіолетова, оптична, інфрачервона, радіоастрономія 125
Урок 12/II–2	Оптичні телескопи. Формула збільшення телескопа, а також роздільна здатність та проникна сила. Недоліки оптичних телескопів 141
Урок 13/II–3	Радіотелескопи. Радіоінтерферометри з наддовгою базою. Найбільші телескопи в Україні та у світі. Астрономічні обсерваторії. Космічні телескопи та обсерваторії. Принцип реєстрування нейтрино. Нейтринні обсерваторії 155
Урок 14/II–4	Астрофотометрія. Основні поняття фотометрії. Фотоемальсія, прилад із зарядовим зв'язком (ПЗЗ). Астроспектроскопія. Основні поняття спектроскопії. Закон випромінювання Планка. Види спектрів космічних об'єктів. Спектральні прилади. Принцип визначення хімічного складу й температури космічних тіл. Ефект Доплера. Визначення променевої швидкості за спектром. Приймачі випромінювання в астрономії 166
Урок 15/III–1	Історія вивчення, склад і будова Сонячної системи. Можливість існування невідомих планет у Сонячній системі 181
Урок 16/III–2	Подібність та відмінність між планетами земної групи та планетами-гігантами. Планети земної групи. Фізичні та орбітальні характеристики. Планети земної групи. Фізичні та орбітальні характеристики. Фізичні характеристики Землі. Внутрішня будова Землі. Будова атмосфери. Рухи в оболонках Землі. Клімат. Причини змін пір року. Місяць: фізичні характеристики та проблема походження. Рельєф та фізичні умови на поверхні. 191
Урок 17/III–3	Планети-гіганти. Фізичні та орбітальні характеристики. Супутники планет. Кільця планет. Карликові планети 210
Урок 18/III–4	Астероїди. Комети. Тіла з поясу Койпера. Метеори та метеорити. Метеорні потоки. Фізичні характеристики малих тіл Сонячної системи та гіпотези походження. Астероїдна небезпека 234
Урок 19/III–5	Контрольна робота з теми «Сонячна система» 248
Урок 20/III–6	Гіпотези і теорії виникнення Сонячної системи, утворення планет. Основні етапи формування Сонячної системи. Відкриття екзопланет, їх фізичні характеристики 252

Урок 21/IV–1	Визначення відстаней до зір. Хімічний склад зоряної речовини. Температури, світності, розміри, маси, густини зір. Взаємозв'язок між розміром, температурою та абсолютною зоряною величиною 263
Урок 22/IV–2	Спектральна класифікація зір. Діаграма Герцшпрунга–Рессела. Джерела енергії зір. Температура у надрах зір. Внутрішня будова зір 275
Урок 23/IV–3	Подвійні зорі різних типів. Змінні зорі. Пульсуючі змінні. Нові та наднові зорі. Утворення хімічних елементів 291
Урок 24/IV–4	Загальні характеристики Сонця, внутрішня будова, атмосфера, обертання Сонця 302
Урок 25/IV–6	Джерело сонячної енергії. Місце Сонця на діаграмі Герцшпрунга–Рессела. Сонячна активність, сонячно-земні зв'язки 312
Урок 26/IV–6	Міжзоряне середовище, його густина й температура. Протозорі. Утворення зір в асоціаціях. Залежність часу існування зорі від початкової маси. Стадія Головної послідовності, червоні гіганти та надгіганти 331
Урок 27/IV–7	Кінцеві стадії еволюції зір, білі карлики, нейтронні зорі, пульсари. Кінцева стадія еволюції Сонця. Чорні діри. Сфера Шварцшильда. Пошуки чорних дір 350
Урок 28/IV–8	Творче завдання. Визначення характеристик зір 368
Урок 29/V–1	Складові, розмір і спіральна структура Галактики. Склад, маса, чисельність зір. Типи населення Галактики, зоряні скупчення. Місце Сонця в Галактиці, його рух відносно сусідніх зір та центра Галактики. Обертання Галактики. Міжзоряні газ і пил. Космічні промені. Проблема «прихованої маси» 377
Урок 30/V–2	Класифікація галактик. Типи, склад і структура галактик. Найближчі галактики. Закон Габбла. Червоне зміщення і визначення відстаней до галактик. Просторовий розподіл галактик. Місцева група галактик. Радіогалактики. Квазари. Поняття Всесвіту в астрономії. Великомасштабна структура нашого Всесвіту 388
Урок 31/V–3	Космологія, космологічні парадокси та принципи. Перші моделі будови Всесвіту. Теорія Великого Вибуху. Основні етапи еволюції Всесвіту 404
Урок 32/V–4	Спостережні дані про прискорене розширення Всесвіту та його можлива інтерпретація. Співвідношення різних типів матерії у Всесвіті. Темна матерія і темна енергія 415
Урок 33–34/V–5, 6	Історичний огляд пошуків позаземного життя. Сучасні наукові дані про існування позаземного життя. Антропний принцип. Ідея існування інших всесвітів 423
Урок 35	Астрономія — передовий рубіж природознавства. Новини астрономічної науки. 462

Купуйте книги у вашому місті!

Вінниця

Маг. «Ранок»,
вул. Острозького, 32; вул. Козицького, 29 А

Житомир

«Гуртівня», майд. Згоди, 3/75, кв. 99;
вул. Михайлівська, 2,
т. (0412) 448-182

Івано-Франківськ

Маг. «Ранок», вул. Мазепи, 4,
т. (0342) 71-34-72;
Маг. «Дім книги», вул. Тичини, 61

Київ

Представництво, вул. Костянтинівська, 71,
т. (044) 377-73-22

Кіровоград

Маг. «Шкільний світ», вул. Поповича, 7 В;
Маг. «Шкільний всесвіт»,
вул. Тімірязєва, 63

Ковель

Маг. «АВС», вул. Лесі Українки, 31

Кременчук

Маг. «Долина», вул. Легодського, 66;
Маг. «Роксолана»,
вул. Перемоги, 26

Кривий Ріг

Маг. «Книги», вул. Тухачевського, 75;
Маг. «Книголюб»,
вул. Ватутіна, 24, офіс 13,
т. (056) 409-81-02

Луцьк

Маг. «Абетка», вул. Грушевського, 61,
м. т. (050) 131-98-67;
Маг. «Дім книги», вул. Конякіна, 37 А

Львів

«Гуртівня»,
вул. Замарстинівська, 11, СШ № 87;
Маг. «Світ знань»,
вул. Леонтовича, 2 (ЗОШ № 11)

Миколаїв

Маг. «Книги»,
просп. Жовтневий, 338

Одеса

Маг. «Методична та дитяча література»,
вул. Марсельського, 28,
м. т. (050) 392-14-92

Подтава

Маг «Оріяна», вул. Артема, 16,
м. т. (093) 183-75-1

Рівне

Маг. «Книги» та «Слово»
вул. Соборна, 57;
Маг. «Знання»
та «Дружба», майдан Незалежності, 57

Севастополь

ЦУК «Біблєкс», вул. Соловйова, 6

Сімферополь

Філія, вул. Київська 153 Б,
т. (0652) 54-21-38

Суми

Маг. «Ранок-книга», вул. Лушпи, 15,
м. т. (099) 313-06-60;
Маг. «Книголюб»,
вул. Козацький Вал, 1;
вул. Набережна ріки Стрілки, 46,
т. (0542) 22-53-00

Тернопіль

Торговий дім «Книги»,
вул. Танцорова, 11; вул. Злуки, 37;
вул. Й. Сліпого, 1; вул. Коперніка, 19,
т. (0352) 251-600

Ужгород

Маг. «Едельвейс»,
вул. Волошина, 24;
Маг. «Долина»,
вул. Легодського, 66; Маг. «Абетка»,
вул. Грушевського, 61,
м. т. (050) 131-98-67

Харків

Маг. «Книжица»,
вул. Зернова, 57;
Маг. «Книголенд»,
вул. Чернишевського, 14;
Маг. «Почитайко»,
вул. Героїв Праці, 15;
Книжковий ринок «Райський куточок»,
ряд 6, місце 29,
т. (050) 757-96-70

Херсон

Маг. «Гувернер»,
вул. Декабристів, 22;
вул. Іллі Кулика, 135

Хмельницький

Маг. «Книжковий світ»,
вул. Подільська, 25

Черкаси

Магазин «Шкільний світ»,
вул. Бидгощська, 38/1,
т. (0472) 51-22-51, (067) 47-27-797

Чернівці

Маг. «Чернівцікнига»,
вул. І. Франка, 20 (ОППО),
м. т. (096) 101-17-79, (095) 424-20-94;
Маг. «Оксамит», вул. Головна, 45,
м. т. (095) 689-57-79;
Маг. «Книги», вул. Шептицького, 2,
м. т. (050) 081-19-12