

16.11.2023

Група 31

Фізика і астрономія

Урок 56-57

Тема: Видимий рух Сонця. Видимі рухи Місяця та планет. Закони Кеплера.
Визначення маси і розмірів небесних тіл

Мета:

- Повторити теоретичний матеріал; узагальнити, систематизувати та поглибити знання учнів із теми; застосувати знання з фізики під час розв'язування прикладних задач; формувати уяву про процеси у природі;
- розвивати в учнів пізнавальний інтерес, уміння використовувати набуті знання, навички й уміння в нових ситуаціях; підвищити інтерес до вивчення фізики та астрономії; розвивати абстрактне та логічне мислення;
- виховувати у учнів повагу та зацікавленість до вивчення фізики та астрономії, старанність у навчанні; сприяти розширенню кругозору учнів.

Матеріали до уроку:



4 Видимий рух Сонця. Видимі рухи Місяця та планет

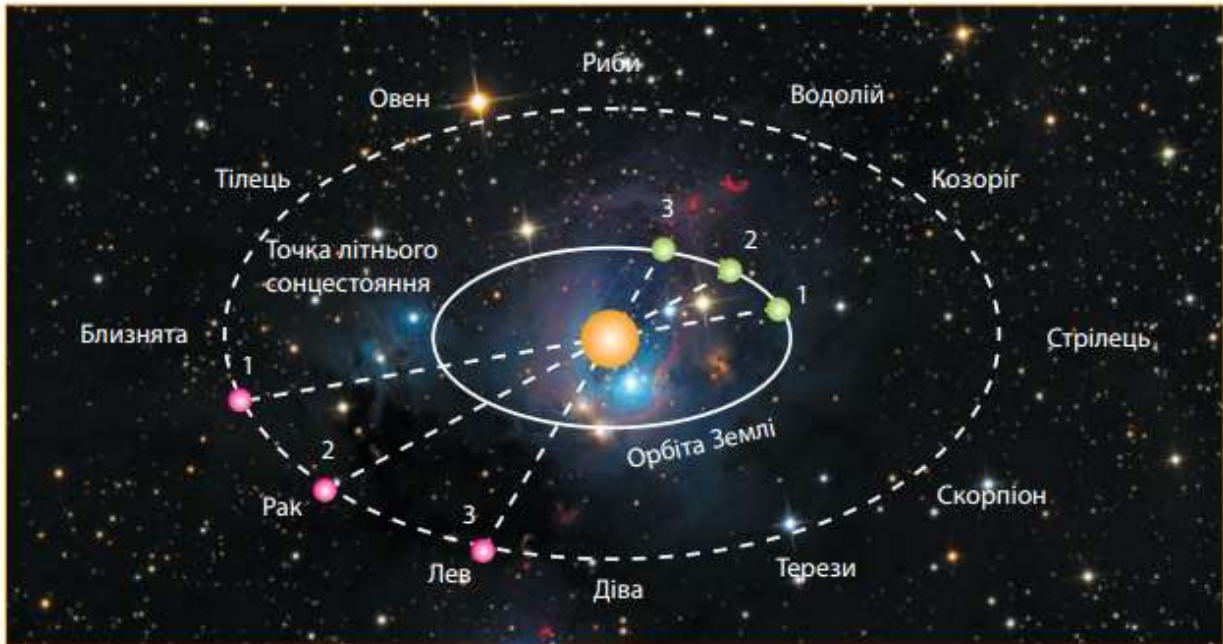
Видимий рух Сонця. Зміна пір року на Землі. Окрім добового руху Сонця по небу, ми також спостерігаємо його річний рух уздовж екліптики. Її площина збігається з площиною орбіти Землі. Рухаючись разом із Землею по орбіті, ми протягом року спостерігаємо Сонце на тлі одного з дванадцяти сузір'їв, розташованих на лінії екліптики. Ці сузір'я називають **зодіакальними**. Наприклад, у червні Сонце рухається по сузір'ю Близнят, у вересні — Діви, у грудні — Стрілець та ін.

Якщо стежити за Сонцем протягом року, то виявиться, що його рух по екліптиці не є рівномірним (4.1).

Початок відліку спостережуваного руху Сонця припадає на день весняного рівнодення — 21 березня, коли наше Світло перебуває в точці весняного рівнодення Υ . Переміщуючись по екліптиці, 22 червня Сонце проходить точку літнього сонцестояння — Θ , коли тривалість світлового дня в Північній півкулі є максимальною. Потім, 22 вересня, Сонце перетинає точку осіннього рівнодення Ω . Точку зимового сонцестояння \beth Сонце проходить 22 грудня, коли тривалість світлового дня є мінімальною.

Зодіакальні сузір'я й час перебування у них Сонця

Υ — Овен: 21 березня — 19 квітня. Ω — Терези: 22 вересня — 22 жовтня. ζ — Телець: 20 квітня — 20 травня. $\♏$ — Скорпіон: 23 жовтня — 21 листопада. $\♊$ — Близнята: 21 травня — 20 червня. $\♐$ — Стрілець: 22 листопада — 20 грудня. Θ — Рак: 21 червня — 22 липня. $\♑$ — Козоріг: 21 грудня — 19 січня. $\♌$ — Лев: 23 липня — 21 серпня. $\♍$ — Водолій: 20 січня — 18 лютого. $\♎$ — Діва: 22 серпня — 21 вересня. $\♐$ — Риби: 19 лютого — 20 березня.



Вісь обертання Землі нахилена до площини орбіти під кутом $66,5^\circ$, і це призводить до зміни пір року на Землі (рис. 4.2). Якби вісь обертання Землі була перпендикулярною до площини орбіти, то зміна пір року не відбувалася б, адже Сонце протягом року освітлювало б рівномірно Північну та Південну півкулі нашої планети. Дні, коли Сонце однаково освітлює дві півкулі Землі, настають тільки двічі на рік — навесні 20–21 березня і восени 22–23 вересня, коли на всіх материках однаково тривалість дня — 12 годин.

В інші місяці тривалість дня більша або менша за 12 годин і залежить від географічної широти місця спостереження. Найдовший день у Північній півкулі настає 21–22 червня — початок астрономічного літа, а у Південній півкулі в цей день починається астрономічна зима. Через півроку 21–22 грудня, навпаки, у Північній півкулі настає астрономічна зима, а в Південній — літо (рис. 4.3).

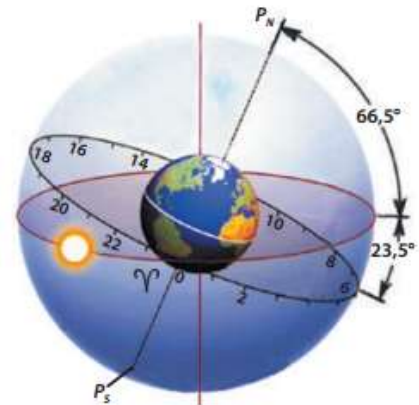


Рис. 4.2. Кут між площинами екватора та екліптики $23,5^\circ$, а кут між площиною екліптики та полюсом світу $66,5^\circ$. Це є причиною зміни пір року на Землі



Рис. 4.3. Освітлення Землі сонячними променями взимку і влітку. Найбільше енергії від Сонця отримує тропічна зона, де опівдні сонячні промені можуть падати перпендикулярно до горизонту. Широта тропіків $\pm 23,5^\circ$

Конфігураціями планет називають характерні взаємні положення планет відносно Землі і Сонця

Протистояння — планету видно із Землі цілу ніч у протилежному від Сонця напрямку

Елонгація — видима з поверхні Землі кутова відстань між планетою і Сонцем

На широті 50° (Київ, Львів, Харків) тривалість найдовшого дня 22 червня — 16 год 20 хв — у два рази більша за тривалість найкоротшого дня 22 грудня — 8 год.

Видимі рухи Місяця та планет. Конфігурації планет. Місяць — природний супутник Землі й найближче до неї небесне тіло. Він рухається навколо нашої планети по еліптичній орбіті у той самий бік, у який Земля обертається навколо своєї осі.

Напрямок руху Місяця — із заходу на схід. Повний оберт по орбіті навколо планети (сидеричний місяць) Місяць здійснює за 27,3 доби. Цікаво, що саме за цей час він здійснює один оберт навколо своєї осі. Отже, із Землі ми завжди бачимо лише одну півку-

лю Місяця, освітлення якої постійно змінюється, проходячи повний цикл фаз.

Фази Місяця, тобто зміна його зовнішнього вигляду, настають унаслідок того, що Місяць світиться відбитими сонячними променями. Обертаючись навколо нашої планети, він займає різні положення відносно Землі та Сонця, тому ми бачимо різні частини його денної півкулі.

Щоб зрозуміти, чому ми бачимо фази Місяця, почнемо з нового Місяця, який із поверхні Землі майже ніколи не видний, адже до нас повернена його нічна півкуля (рис. 4.4). Перша чверть настає за тиждень,

у цей час до Землі повернені половина денного та половина нічного боку Місяця. Повня настає у той момент, коли Місяць розташований з протилежного боку від Сонця. Остання чверть (або старий Місяць) спостерігається у південно-східній частині небосхилу перед світанком. Від одного молодика до наступного проходить 29,5 земних діб. Цей період місячних фаз називають *синодичним місяцем*.



Рис. 4.4. Зміна фаз Місяця

1. Новий Місяць (новак).
2. Зростаючий серп (молодик).
3. Перша чверть; 4. Зростаючий Місяць.
5. Повний Місяць (повня).
6. Спадаючий Місяць.
7. Остання чверть.
8. Спадаючий Місяць

Конфігурація планет. Усі планети світяться відбитим сонячним промінням, тому краще видно ту планету, яка розташована ближче до Землі, за умови, якщо до нас повернена її денна, освітлена Сонцем півкуля. На рис. 4.5 зображено протистояння Марса (M_1), тобто таку конфігурацію, коли Земля буде перебувати на одній прямій між Марсом і Сонцем. У протистоянні яскравість планети найбільша, тому що до Землі повернена вся її денна півкуля.

Орбіти двох планет, Меркурія і Венери, розташовані ближче до Сонця, ніж Земля, тому в протистоянні вони не бувають. У положенні, коли Венера чи Меркурій перебувають найближче до Землі, їх не видно, тому що до нас повернена нічна півкуля планети (рис. 4.5). Така конфігурація називається нижнім сполученням із Сонцем. У верхньому сполученні планету теж не видно, адже між нею і Землею розташовується яскраве Сонце.

Найкращі умови для спостереження Венери і Меркурія бувають у конфігураціях, які називаються **елонгаціями**. Східна елонгація — це момент положення, коли планету видно ліворуч від Сонця ввечері (B_1). Західна елонгація Венери спостерігається вранці, коли планету видно праворуч від Сонця у східній частині небосхилу (B_2).

Сидеричний і синодичний період обертання планет. Сидеричний період обертання визначає рух тіл відносно зір. Це проміжок часу, упродовж якого планета, рухаючись по орбіті, робить повний оберт навколо Сонця (рис. 4.6). Синодичний період обертання визначає рух тіл відносно Землі і Сонця. Це проміжок часу, упродовж якого спостерігаються одні й ті самі послідовні конфігурації планет (протистояння, сполучення, елонгації).

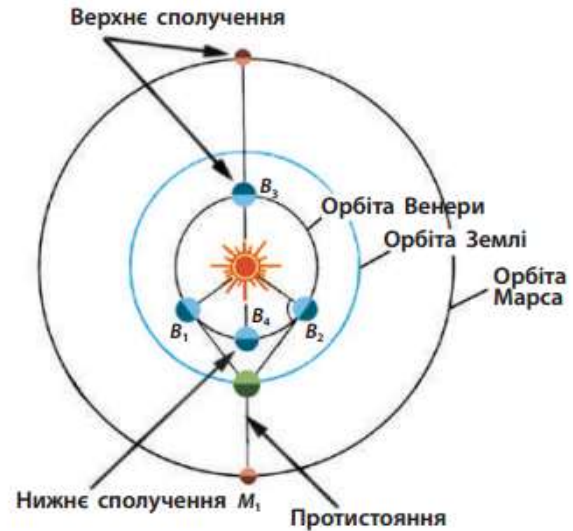


Рис. 4.5. Конфігурації Венери і Марса. Протистояння Марса: планета перебуває найближче до Землі, її видно всю ніч у протилежному від Сонця напрямку. Венеру найкраще видно ввечері у східну елонгацію ліворуч від Сонця (B_1) та вранці під час західної елонгації праворуч від Сонця (B_2)

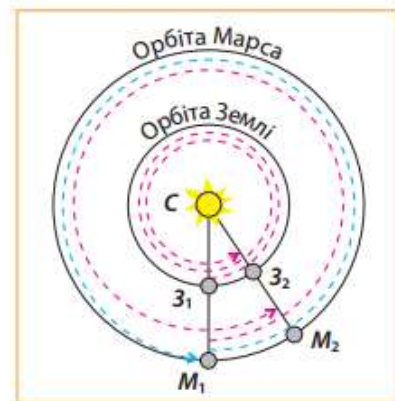


Рис. 4.6. Шлях, що відповідає сидеричному періоду обертання Марса навколо Сонця, зображено пунктиром синього кольору, синодичному — пунктиром червоного кольору.

Положення $C-3_1-M_1$ та $C-3_2-M_2$ — два послідовних протистояння Марса

5

Закони Кеплера.

Визначення маси і розмірів небесних тіл

Закони Кеплера. Йоганн Кеплер визначив, що Марс рухається навколо Сонця по еліпсу, а потім було доведено, що й інші планети теж мають еліптичні орбіти.

Перший закон Кеплера. Всі планети обертаються навколо Сонця по еліпсах, а Сонце розташоване в одному з фокусів цих еліпсів (рис. 5.1).

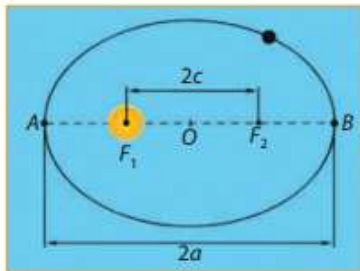


Рис. 5.1. Планети обертаються навколо Сонця по еліпсах.
 $AF_1 = r_{\min}$ — у перигелії;
 $BF_1 = r_{\max}$ — в афелії

Головний наслідок першого закону Кеплера: відстань між планетою та Сонцем не залишається сталою і змінюється в межах:

$$r_{\max} \leq r \leq r_{\min} \quad (5.2)$$

Точка А орбіти, де планета наближається на найменшу відстань до Сонця, називається **перигелієм** (від грец. *peri* — поблизу, *gelios* — Сонце), а найвіддаленішу від центра Сонця точку В орбіти планети назвали **афелієм** (від грец. *apo* — далі) (рис. 5.3). Сума відстаней у перигелії та афелії дорівнює великій осі АВ еліпса:

$$r_{\max} + r_{\min} = 2a \quad (5.4)$$

Ступінь витягнутості еліпса характеризується **ексцентриситетом** e — відношенням відстані між фокусами $2c$ до довжини великої осі $2a$, тобто

$$e = \frac{c}{a}, \quad 0 < e < 1 \quad (5.5)$$

Орбіта Землі має маленький ексцентриситет $e = 0,017$ і майже не відрізняється від кола, тому відстань між Землею і Сонцем змінюється в невеликих межах від $r_{\min} = 0,983$ а. о. в перигелії до $r_{\max} = 1,017$ а. о. в афелії.

Орбіта Марса має більший ексцентриситет, а саме 0,093, тому відстань між Землею і Марсом під час протистояння може бути різною — від 100 млн км до 56 млн км. Значний ексцентриситет ($e = 0,8...0,99$) мають орбіти багатьох астероїдів і комет, а деякі з них перетинають орбіту Землі та інших планет, тому інколи відбуваються космічні катастрофи під час зіткнення цих тіл.

Супутники планет теж рухаються по еліптичних орбітах, причому у фокусі кожної орбіти розміщений центр відповідної планети.

Земля в перигелії

3–4 січня наближається до Сонця на найменшу відстань — 147 млн км

Земля в афелії

3–4 липня віддаляється від Сонця на найбільшу відстань — 153 млн км

Найбільшу швидкість

Земля має взимку:

$$V_{\max} = 30,38 \text{ км/с}$$

Найменшу швидкість

Земля має влітку:

$$V_{\min} = 29,36 \text{ км/с}$$

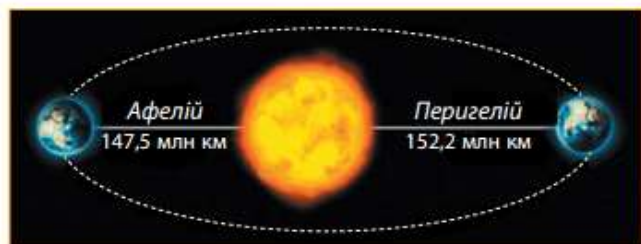


Рис. 5.3. Афелій і перигелій Землі

Другий закон Кеплера. Радіус-вектор планети за однакові проміжки часу описує рівні площі.

Головний наслідок другого закону Кеплера полягає в тому, що під час руху планети по орбіті з часом змінюється не тільки відстань планети від Сонця, а й лінійна та кутова її швидкості.

Найбільшу швидкість планета має в перигелії, коли відстань до Сонця є найменшою, а найменшу швидкість — в афелії, коли відстань є найбільшою.

Другий закон Кеплера фактично визначає відомий фізичний закон збереження енергії: сума кінетичної та потенціальної енергії в замкненій системі є величиною сталою. Кінетична енергія визначається швидкістю планети, а потенціальна — відстанню між планетою та Сонцем, тому при наближенні до Сонця швидкість планети зростає (рис. 5.6).

Якби Земля оберталася навколо Сонця з постійною швидкістю, то кількість днів у цих півріччях була б однаковою. Але, згідно з другим законом Кеплера, взимку швидкість

Землі більша, а влітку — менша, тому літо в Північній півкулі триває трохи більше, ніж зима, а у Південній півкулі, навпаки, зима трохи довша за літо.

Третій закон Кеплера. Квадрати сидеричних періодів обертання планет навколо Сонця відносяться як куби великих півосей їхніх орбіт.

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}, \quad (5.7)$$

де T_1 та T_2 — сидеричні періоди обертання будь-яких планет; a_1 та a_2 — великі півосі орбіт цих планет.

Якщо визначити велику піввісь орбіти якоїсь планети чи астероїда, то, згідно з третім законом Кеплера, можна обчислити період обертання цього тіла, не чекаючи, поки воно зробить повний оберт навколо Сонця.

Третій закон Кеплера використовується також і в космонавтиці, якщо треба визначити період обертання навколо Землі супутників, космічних кораблів або обчислити час польоту міжпланетних станцій на інші планети Сонячної системи.

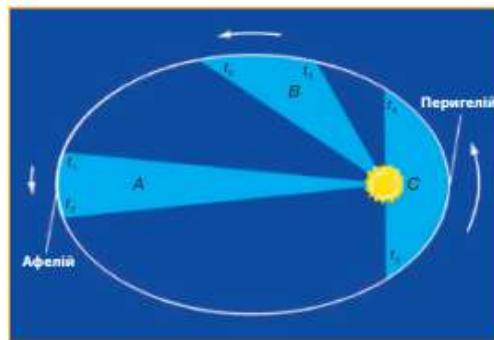


Рис. 5.6. При наближенні до Сонця швидкість планети зростає, а при віддаленні — зменшується. Якщо відрізки часу $t_2 - t_1 = t_4 - t_3 = t_6 - t_5$, то площі $S_A = S_B = S_C$

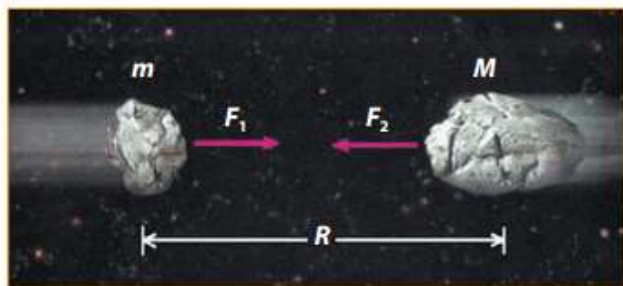


Рис. 5.8. Закон всесвітнього тяжіння

Закон всесвітнього тяжіння. Великий англійський фізик і математик Ісаак Ньютон довів, що фізичною основою законів Кеплера є фундаментальний закон всесвітнього тяжіння, який не тільки зумовлює рух планет у Сонячній системі, а й визначає взаємодію зір у Галактиці. У 1687 р. І. Ньютон сформулював цей закон так: *будь-які два тіла з масами M і m притягуються із силою, величина якої пропорційна добутку їхніх мас та обернено пропорційна квадрату відстані між ними* (рис. 5.8).

$$F = G \frac{mM}{(R+H)^2}$$

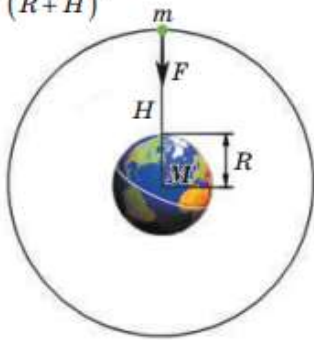


Рис. 5.10. Сила тяжіння, яка діє на космічний корабель, залежить від відстані $R + H$ між кораблем і центром Землі

$$F = G \frac{Mm}{R^2}, \quad (5.9)$$

де G — гравітаційна стала; R — відстань між цими тілами.

Слід звернути увагу, що формула (5.9) справедлива тільки для двох матеріальних точок. Якщо тіло має сферичну форму і густина всередині розподілена симетрично відносно центра, то масу такого тіла можна вважати за матеріальну точку, яка розміщується в центрі сфери. Наприклад, якщо космічний корабель обертається навколо Землі, то для визначення сили, з якою корабель притягується до Землі, беруть відстань $R + H$ до центра Землі, а не до поверхні (рис. 5.10).

Домашнє завдання: дати відповіді на запитання (у зошиті):

- 1) За яких умов на Землі не відбувалося б зміни пір року?
- 2) Визначте за допомогою астрономічного календаря, яка планета Сонячної системи розташовується найближче до Землі 10 березня поточного року. У якому сузір'ї її можна побачити сьогодні вночі?

Зворотній зв'язок:

E-mail t.anastasia.igorivna@gmail.com