

# Лекція №1

## Тема 1. ПРЕДМЕТ АСТРОНОМІЇ. ЇЇ РОЗВИТОК І ЗНАЧЕННЯ В ЖИТТІ СУСПІЛЬСТВА. КОРОТКИЙ ОГЛЯД ОБ'ЄКТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ В АСТРОНОМІЇ.

1. Астрономія — фундаментальна наука, яка вивчає об'єкти Всесвіту та Всесвіт у цілому. Історія розвитку астрономії. Галузі астрономії. Зв'язок астрономії з іншими науками.
2. Астрономія та астрологія. (*доповідь про свій знак зодіаку*)
3. Значення астрономії для формування світогляду людини. Астрономічні знання як явище культури.

## Тема 2. ОСНОВИ ПРАКТИЧНОЇ АСТРОНОМІЇ

1. Небесні світила й небесна сфера. Сузір'я.
2. Зоряні величини. Визначення відстаней до небесних світил.
3. Астрономія та визначення часу. Типи календарів. Небесні координати.
4. Видимий рух Сонця. Видимі рухи планет.
5. Закони Кеплера.

**1. Астрономія** — наука, що вивчає рух, будову, походження і розвиток небесних тіл і їх систем. Нагромаджені нею знання застосовуються для практичних потреб людства.

Астрономія є однією з найстародавніших наук, вона виникла на основі практичних потреб людини й розвивалася разом з ними. Елементарні астрономічні відомості вже тисячі років тому мали народи Вавілону, Єгипту, Китаю і застосовували їх для вимірювання часу та орієнтування за сторонами горизонту.

І в наш час астрономію використовують для визначення точного часу й географічних координат (у навігації, авіації, космонавтиці, геодезії, картографії). Астрономія допомагає досліджувати й освоювати космічний простір, розвивати космонавтику й вивчати нашу планету з космосу. Однак цим далеко не вичерпуються завдання, які вона розв'язує.

Наша Земля — частина Всесвіту. Місяць і Сонце спричиняють на ній припливи і відпливи. Сонячне випромінювання та його зміни впливають на процеси в земній атмосфері й на життєдіяльність організмів. Механізми впливу різних космічних тіл на Землю також вивчає астрономія.

Початок астрономія бере в глибині віків. Перші астрономічні відомості про зміну пір року, періодичність сонячних і місячних затемнень відомі ще більше 4 тисячоліть назад в Стародавньому Китаї. В цей же час астрономія дістає розвитку в країнах Близького Сходу і Єгипті. Астрономія в більшості розвивається завдяки потребам людської практики: сільськогосподарські роботи, розливи рік, прокладка караванних шляхів, мореплавання і ін.

Розвиток математики, особливо геометрії, приводить до розвитку астрономії. Давньогрецькими астрономами на базі геоцентричної системи світу розроблена теорія видимого руху планет, Місяця, Сонця (великий внесок Гіппархом II ст. до н. е., найбільш повна теорія — Птоломей II ст. н. е.).

В пору середньовіччя астрономія, як і решта наук в Європі занепала, лише арабські і середньоазіатські вчені змогли добитись незначних успіхів. Коректуванням і переобчисленням таблиць видимих планетних рухів займались середньоазіатські вчені Беруні (973 - 1048), Улугбек (1394 - 1449) та інші.

Величезним внеском була опублікована в 1543р. праця польського вченого Миколи Коперніка (1473 - 1543). Він відмовився від геоцентричної системи і в основу теорії поклав геліоцентричну систему, в якій центром світу було Сонце. Використовуючи геліоцентричну систему Коперніка і багаторічні дослідження планет датського астронома Тихо Браге (1546 - 1601), Іоганн Кеплер (1571 - 1630) встановив 3 закони планетних рухів.

З відкриття Ісаком Ньютоном (1643 - 1727) аксіом динаміки і закону тяжіння бурхливий розвиток отримала небесна механіка. Французькі математики Лагранж (1736 - 1813) і Лаплас (1749 - 1827) заклали основи сучасній теорії руху великих планет і Місяця. Повним підтвердженням теорії було відкриття в 1846р. на основі математичних розрахунків планети Нептун французьким вченим У. Левер'є (1811 - 1877).

Паралельно з небесною механікою розвивалося і спостереження. Свій початок воно бере з Галілея (1564 - 1642), який вперше використав підзорну трубу в якості телескопа (1610), чим започаткував астрономічне приладобудування. Галілеєм досліджено ряд нових явищ: відкриття супутників Юпітера, дослідження поверхні Місяця, відшукання фаз Венери, розклад Молочного Шляху на окремі зірки.

Багато цінних спостережень виконано на межі 18 і 19 століть. Удосконалення телескопів (зростає роздільна здатність і якість зображення) дає можливість проникнути в середину Всесвіту (англ. астроном Гершель (1738 - 1822)). Відкрито і досліджено зоряні скупчення і туманності, кратні і змінні зорі.

З застосуванням фотографії і спектрального аналізу в середині 19 ст. зародилась астрофізика. До середини 20 ст. виянилось, що зорі входять в склад грандіозної зоряної системи — Галактики, а спіральні туманності зображають аналогічні зоряні системи, що знаходяться за межами Галактики. Виявлено явище розходження галактик, що вказувало на розширення видимої частини Всесвіту — Метагалактики.

В 40-х роках дослідження поширено на радіодіапазон. Виник розділ астрономії — радіоастрономія. Знайдено незвичайні класи небесних тіл —квасари, пульсари, фонове реліктове випромінювання (подібно до випромінювання абсолютно чорного тіла з температурою 3К).

1957р. новий етап розвитку в астрономії. Запуск перших штучних супутників (перетворення астрономії з науки теоретичної в практичну).

Посадка космічних апаратів на Місяць, доставка місячного ґрунту на Землю, перша висадка людей на Місяць, посадка літаючих апаратів на поверхні Венери і Марса, польоти космічних апаратів поблизу Юпітера, Сатурна і їх супутників — те нове, що було досягнуто в останнє двадцятиріччя.

#### Сучасна астрономія утримується на 3-х «китах»:

- ✚ Світло сприймальна техніка,
- ✚ Сукупність законів, ідей і методів теоретичної фізики,
- ✚ Математичний апарат у поєднанні з можливостями сучасної обчислювальної техніки.

#### Основні розділи астрономії:

- ✚ **Космологія** – розділ, в якому вивчають будову та еволюцію Всесвіту як єдиного цілого,
- ✚ **Астрометрія** – розділ, що вивчає положення і рух небесних тіл та їхніх систем,
- ✚ **Небесна механіка** – розділ, що вивчає закони руху небесних тіл,

- ✚ **Астрофізика** - розділ, що вивчає природу космічних тіл: їхню будову. Хімічний склад, фізичні властивості,
- ✚ **Космогонія** – вивчає предмети, походження тіл та їх еволюцію,
- ✚ **Зоряна астрономія** – вивчає рух та розподіл у просторі зір, системи зір і проблеми стійкості цих систем.

Курс астрономії завершує фізико-математичну і природничо-наукову освіту, яку ви здобуєте в школі.

Сучасна астрономія тісно пов'язана з математикою і фізикою, біологією і хімією, географією, геологією і космонавтикою. Використовуючи досягнення інших наук, вона в свою чергу збагачує їх, стимулює розвиток, висуваючи перед ними все нові завдання.

Вивчаючи астрономію, слід звертати увагу на те, які відомості є достовірними фактами, а які — науковими припущеннями, що з часом можуть змінитися.

Астрономія вивчає в космосі речовину в таких станах і масштабах, які не можна створити в лабораторіях, і цим розширює фізичну картину світу, наші уявлення про матерію. Усе це важливо для розвитку діалектико-матеріалістичного уявлення про природу.

Наперед визначаючи настання затемнень Сонця і Місяця, появу комет, показуючи можливість природничо-наукового пояснення походження й еволюції Землі та інших небесних тіл, астрономія підтверджує, що межі людському пізнанню немає.

У минулому столітті один з філософів-ідеалістів, доводячи обмеженість людського пізнання, твердив, що, хоч люди й зуміли виміряти відстані до деяких світил, вони ніколи не зможуть визначити хімічний склад зір. Проте незабаром було відкрито спектральний аналіз, і астрономи не тільки встановили хімічний склад атмосфер зір, а й визначили їх температуру. Неспроможними виявилися й багато інших спроб установити межі людського пізнання. Так, учені спочатку теоретично оцінили температуру місячної поверхні, потім виміряли її із Землі за допомогою термоелемента і радіометодів, згодом ці дані були підтвержені приладами автоматичних станцій, що їх створили і послали на Місяць люди.

## 2. Доповідь.

**3. Астрономія** — наука про небесні світила, про закони їхнього руху, будови і розвитку, а також про будову і розвиток Всесвіту в цілому. **Основа астрономії** — спостереження. Вивчаючи потоки електромагнітних хвиль від небесних світил, астрономи не тільки змогли визначити відстані до них, дослідити фізичні умови в їхніх надрах, встановити хімічний склад їхніх атмосфер, з'ясувати внутрішню будову, але й намалювати шляхи їхньої еволюції впродовж мільярдів років. Відіграючи величезну світоглядну роль, астрономія завжди посідала чільне місце в духовному житті людства. Ось що писав з цього приводу А. Пуанкаре: «Астрономія корисна, тому що вона підносить нас над нами самими; вона корисна, тому що вона велична; вона корисна, тому що вона прекрасна. Вона показує нам, яка нікчемна людина тілом і яка велична вона духом, бо розум її у змозі досягнути сяючі безодні, де її тіло – лише темна точка, у змозі насолоджуватись їхньою безмовною гармонією. Так приходимо ми до усвідомлення своєї могутності, і це усвідомлення ... робить нас сильнішими». Сучасна астрономія, залишаючись фундаментальною наукою, має величезне прикладне значення і безпосередньо пов'язана з науково-технічним прогресом людства. Вивчення різноманітних небесних тіл, які можуть перебувати в умовах і дуже високих, і дуже низьких температур, густин і тисків, збагачує важливими даними «земні» науки - фізику, хімію тощо. Закони небесної механіки покладено в основу теорії руху космічних апаратів, а практичну космонавтику уявити без астрономії взагалі неможливо. Дослідження Місяця і планет дозволяють значно краще вивчати нашу Землю. Крім того, астрономія є однією з найголовніших наук, завдяки яким створюється наукова картина світу - система уявлень про найзагальніші закони будови і розвитку Всесвіту та його окремих частин. І ця наукова картина світу, більшою чи меншою мірою, стає елементом світогляду кожної людини.

## Тема 2. **ОСНОВИ ПРАКТИЧНОЇ АСТРОНОМІЇ**

**1. Небесна сфера** – уявна сфера довільного радіуса з центром в довільній точці простору, якого є око спостерігача. (МАЛЮНОК)

**Сузір'я** — певна ділянка зоряного неба з чітко окресленими межами, що охоплює всі належні їй світила і яка має власну назву. (88 сузір'я)

**2. Видима зоряна величина** — величини в яких не враховується відстань до зірок. Чим яскравіший об'єкт, тим менше числове значення його зоряної величини.

Поняття зоряної величини було започатковано ще античними астрономами, які розподіляли всі доступні неозброєному оку об'єкти неба на шість величин. Найяскравіші зірки відносили до першої величини, найтьмяніші до шостої. Вважалося, що зірки якоїсь величини вдвічі яскравіші ніж зірки наступної величини. Цей спосіб виміру яскравості набув поширення завдяки «Альмагесту» — зоряному каталогу Клавдія Птолемея, а його автором вважається Гіппарх.

Шкала зоряних величин є логарифмічною через те, що зміна яскравості в однакове число разів сприймається оком як однакова (фізіологічний закон Вебера-Фехнера: якщо подразнення зростає в геометричній прогресії, то відповідне йому відчуття зростає в геометричній прогресії).

В 1856 році Норман Погсон формалізував шкалу зоряних величин, встановивши, що зірка першої величини точно в 100 разів яскравіша за зірку шостої величини і, таким чином, яскравіша за зірку другої величини приблизно в 2,512 рази. Корінь п'ятого степеня зі 100 — ірраціональне число, що приблизно дорівнює 2,512, зветься коефіцієнтом Погсона.

Таким чином, зоряну величину можна виразити через таке рівняння:

$$m = -2,512 \lg E_2/E_1 + C,$$

E-блиск

(блиск - освітленість площадки перпендикулярна до променів небесного об'єкта )

C — константа, яка залежить від вибору базової точки шкали.

Спочатку Погсон використовував Полярну зірку як базу своєї шкали, встановивши, що вона має точно другу зоряну величину. Однак потім було з'ясовано, що Полярна є змінною, і шкалу спочатку почали прив'язувати до Веги, а потім перейшли до користування табличною базовою точкою, заснованою на виміряному значенні світлового потоку.

Для того, щоб порівняти астроном. світність зірок в астрономії використовується поняття **абсолютна зоряна величина зірки** = її видимій зоряній величині, якщо зірка знаходиться на відстані 10 пк.

$M = m$ , якщо  $r$  - відстань до зорі, виміряна в парсеках

$M = m + 5 - 5 \lg r + 5$ , де

**M** – абсолютна зоряна величина – така зоряна величина, яку б мала зоря, якби перебувала від нас на відстані 10 пк (32,6 св.р)

**m** - зоряна величина

**Визначення відстаней до небесних світил**

Відстань до планет Сонячної системи вдалося визначити лише у XVII ст. через вимірювання **горизонтального параллаксу**- це кут між напрямом на світило з якої небудь точки земної поверхні і напрямом з центра Землі.

Відстані до близьких зір визначають за допомогою вимірювання їхнього **річного параллаксу**  $\pi$  – кут, під яким із зорі було б видно радіус земної орбіти.

**Світловий рік** – відстань, яку проходить світло за один рік, поширюючись зі швидкістю 300000км/с

**Астрономічна одиниця** – дорівнює середній відстані Землі від Сонця (149600000км)

**Парсек** — відстань, з якої середній радіус земної орбіти (рівний 1 а. о.), перпендикулярний променю зору, видно під кутом 1" (одна кутова секунда).

**3.** Система відліку великих проміжків часу (*літочислення*) з поділом на окремі періоди — роки, місяці і доби — називається **календарем**. За основу календарних одиниць лічби часу взято природні одиниці часу: сонячний рік, синодичний місяць і сонячну добу.

Ці одиниці часу між собою несумірні, а тому узгодження їх ускладнювало побудову календарів і породжувало плутанину в літочисленні різних народів, усуненню якої астрономи приділяли великої уваги.

Незалежність основних одиниць часу зумовлювала існування **трьох типів** календарів: сонячний, місячний і місячно-сонячний. У **сонячному** календарі основною одиницею часу є тривалість тропічного року (*365,2422 середньої доби*). Сучасний календар належить до сонячних. В основу **місячного** календаря покладено тривалість синодичного місяця (*29,5 доби*). Рік у ньому дорівнює 354 або 355 середнім сонячним добам, тобто 12 місяцям по 29,5 доби. **Місячно-сонячний** календар — це комбінація сонячного і місячного календаря.

Порядкові номери років у календарях ведуться від умовного початку, що називається **ерою**. Відомо понад 200 різних ер. Єгиптяни рахували ери по рокам початку правління фараонів, китайці – початки правління фараонів, римляни, наприклад, лічили спочатку за іменами консулів, далі — "*від заснування Риму*" (*відповідає 753 р. до н. е.*). У християнській релігії введено початок від "*створення світу*" (*5508 р до н. е.*), але в VI ст. прийнято нову еру — від народження Христа, якою користуються у багатьох країнах.

**Сучасний** календар складається з основних елементів сонячного римського календаря, який був розроблений олександрійським астрономом Созігеном і введений в 45 р. до н. е. Юлієм Цезарем. Рік у ньому становив 365,25 сонячної доби, причому для зручності лічби запропоновано вважати три роки по 365 діб, а кожний четвертий рік по 366 діб. Роки з 365 добам названо **простими**, а з 366 — **високосними**. Всі роки, номери яких діляться на 4, вважались високосними.

Рік складався з 12 місяців, тривалість і назви яких зберігалися в європейському і російському календарях; в тому числі і назви — "*юль*" та "*август*" на честь Юлія Цезаря і імператора Августа. Дійшов до нашого часу і вавілонський семиденний тиждень.

У юліанському календарі різниця між календарним і тропічним роком дорівнює 0,0078 доби або 11<sup>m</sup>14s; за 128 років вона збільшується до 1 доби. На кінець XVI ст., відставання становило вже 10 діб. Італійський професор математики Луїджі Ліліо Гараллі запропонував проект нового календаря, який і був затверджений папою римським Григорієм XIII у 1582р.

Новий календар став називатися **григоріанським**, або "*новим стилем*", на відміну від **юліанського** календаря, або "*старого стилю*". У папській буллі наказувалось вважати наступний після 4 жовтня 1582 р. день не 5, а 15 жовтня. Так було



ліквідовано 10 днів відставання. Щоб надалі не допускати відставання, домовились з кожних 400 років вважати високосними не 100, як в юліанському календарі, а 97 років і вважати простими ті вікові роки, в яких число сотень не ділиться на 4 без остачі, наприклад 1700, 1800, 1900. У Радянській Росії щоб ліквідувати відставання в 13 діб, день після 31 січня 1918 р. стали вважати не 1, а 14 лютого.

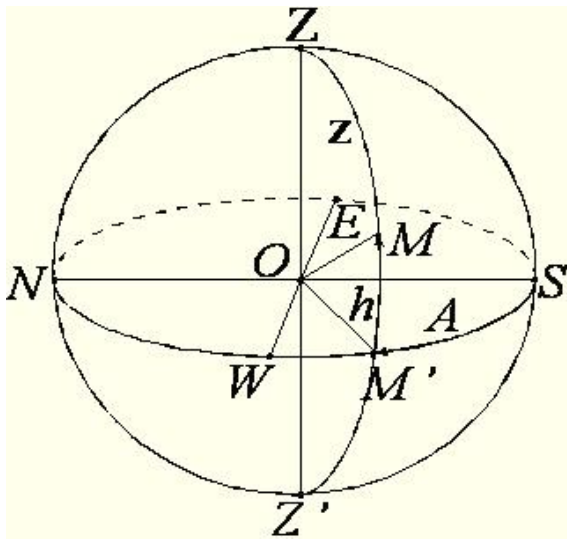
Час **Паски** з року в рік припадає на різні дати. Нижче наведено приклад визначення дати настання Паски, де через  $N$  позначено номер року, для якого визначаємо дату святкування, а  $\{ \}$  позначено остачу від ділення.

$$\begin{array}{ll}
 a = \left\{ \frac{N}{4} \right\} & a = \left\{ \frac{2009}{4} \right\} = 1 \\
 b = \left\{ \frac{N}{7} \right\} & b = \left\{ \frac{2009}{7} \right\} = 0 \\
 c = \left\{ \frac{N}{19} \right\} & c = \left\{ \frac{2009}{19} \right\} = 14 \\
 d = \left\{ \frac{19c + 15}{30} \right\} & d = \left\{ \frac{19 \cdot 14 + 15}{30} \right\} = 11 \\
 e = \left\{ \frac{2a + 4b + 6d + 6}{7} \right\} & e = \left\{ \frac{2 \cdot 1 + 4 \cdot 0 + 6 \cdot 11 + 6}{7} \right\} = 1 \\
 4.04 + d + e = ? & 4.04 + 11 + 1 = 16.04
 \end{array}$$

## Небесні координати

Положення небесних світил на небесній сфері визначається з допомогою двох астрономічних **координат**. Існують різні системи астрономічних координат, які відрізняються лише вибором площини відліку і початком відліку. В задачах завжди можна здійснити перехід від одної системи до іншої.

### Горизонтальна система координат



**Основні елементи:** коло математичного горизонту ( $NS$ ), вертикальна лінія ( $ZZ'$ ) та точка півдня ( $S$ ),

- т.М позначимо положення світила, координати якого треба визначити,
- точку перетину кола висоти з горизонтом позначимо  $M'$ ,
- з центра сфери  $O$  проведемо радіуси у точки  $M$  і  $M'$ .

**Центральний кут  $MOM'$** , або дуга  $MM'$  визначає віддаль світила від горизонту – називається **висотою** світила ( $h$ ). Висоту відлічують від горизонту до світила. Можливі значення  $h : 0^\circ \div 90^\circ$  – якщо світило знаходиться над горизонтом,  $0^\circ \div -90^\circ$  – під горизонтом в невидимій півсфері.

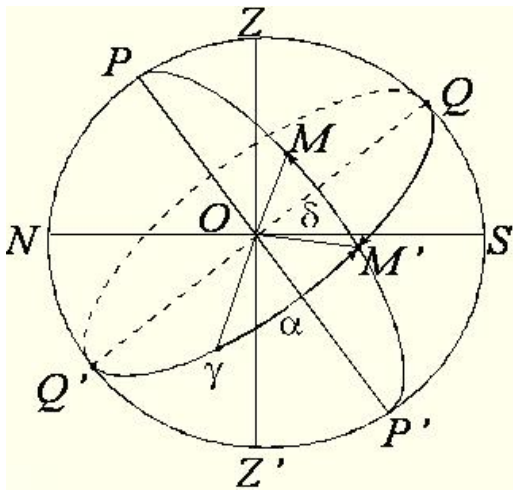
**Висотою** світила називається його кутова віддаль від горизонту.

Замість висоти зручно вживати кут  $ZOM$ , або дугу  $ZM$  - **зенітну віддаль** ( $z$ ). Зенітну віддаль відлічують від зеніту до світила. Можливі значення :  $0^\circ \div 180^\circ$ . Отже  $h+z=90^\circ$ .

**Зенітною віддаллю** називається кутова віддаль світила від зеніту. Положення кола висоти визначається двограним кутом між колами небесного меридіана та висоти, що вимірюється центральним кутом  $SOM'$ , або дугою  $SM'$  і називається **азимутом** ( $A$ ). Відраховується по колу горизонту від точки півдня  $S$  на захід до кола висоти. Можливі значення :  $0^\circ \div 360^\circ$ .

**Азимутом** називається кутова віддаль кола висоти світила від точки півдня. Висота і азимут міняються на протязі доби, бо пов'язані з пунктом спостереження.

## Перша екваторіальна система координат



**Основні елементи:** коло екватора ( $QQ'$ ), вісь світу ( $PP'$ ), та південна точка екватора  $Q$ ,

- допоміжна небесна сфера,
- рисуємо вісь світу  $PP'$ , небесний екватор, для зручності вертикаль  $ZZ'$  і полудневу лінію  $NS$ ,
- позначимо на сфері положення світила т.  $M$ ,
- коло схилення (*велике півколо, що проходить через точки  $P, M, P'$* ),
- точку перетину кола схилення і екватора позначимо  $M'$ ,
- проведемо пряму  $OM$  (*світовий промінь зорі*) і т.  $O$  з'єднаємо з т.  $M'$ ; центральний кут  $MOM'$ , або дуга  $M'M$  в площині великого кола називається схиленням ( $\delta$ ).

**Схилення** відлічується від екватора до світила. Можливі значення  $0^\circ \div 90^\circ$  – в північній півкулі і  $0^\circ \div -90^\circ$  в південній півкулі. Схиленням світила називається кутова віддаль його від екватора.

Центральний кут в площині екватора  $QOM'$ , який вимірює двогранний кут між колами схилення світила і небесного меридіану – називається **годинним кутом** ( $t$ ). Годинний кут відлічується від південної точки екватора до круга схилень за стрілкою годинника (*на захід*). Можливі значення:  $0^\circ \div 360^\circ$ , або  $0^h \div 24^h$  ( $1^h = 15^\circ$ ).

**Годинними кутом** називається кутова віддаль кола схилень від південної точки небесного меридіану. Схилення не залежить від добового обертання Землі. Годинний

кут змінюється пропорційно часу. Ця система переважно використовується при визначенні часу за спостереженням зір.

### Друга екваторіальна система координат

**Основні елементи:** коло екватора, вісь світу (PP'), точка весняного рівнодення ( $\gamma$ ).

Однією координатою залишається схилення, а друга координата **пряме сходження** ( $\alpha$ ) - центральний кут  $\gamma OM'$  між колом схилення та напрямком в точці весняного рівнодення, лежить в площині небесного екватора. Відлічується від т. $\gamma$  проти годинникової стрілки. Можливі значення :  $0^\circ \div 360^\circ$  , або  $0^h \div 24^h$ .

**Прямим сходженням** називається кутова віддаль кола схилення від т. $\gamma$  . Обидві координати не залежать від обертання Землі. Використовується при складанні астрономічних каталогів небесних об'єктів.

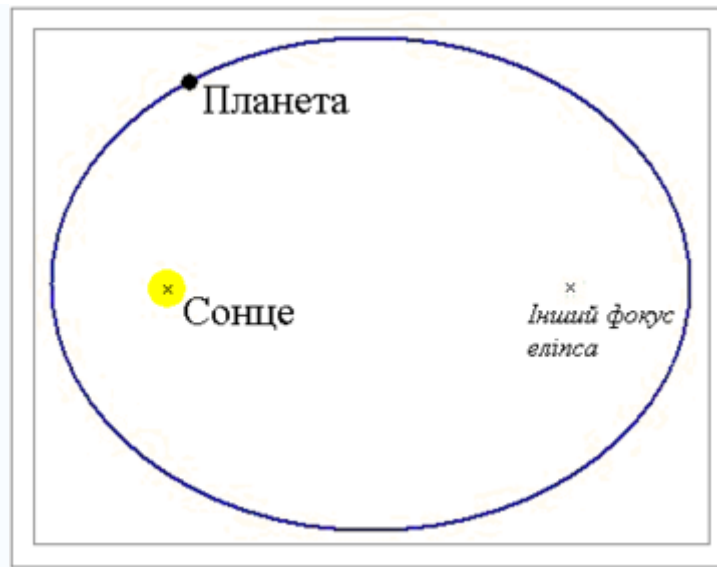
Внаслідок прецесії земної осі положення полюса світу з часом змінюється, а це приводить до зміни значень  $\alpha$  і  $\delta$ . В астрономічних календарях приводять значення  $\alpha$  і  $\delta$

визначених на чверть півріччя. Якщо N номер року, то, 
$$\alpha_N = \alpha_{1975} + (N - 1975) \Delta\alpha$$
$$\delta_N = \delta_{1975} + (N - 1975) \Delta\delta$$
 - подається в астрономічних календарях.

**4.Рухома карта зоряного неба** зображає собою навчальний прилад, який служить для вивчення зоряного неба. Вона дає можливість визначити вид зоряного неба в будь-який момент доби заданої дати; з допомогою рухомої карти зоряного неба можна встановити, які світила в даний момент сходять, заходять або кульмінують.

Карта складається з двох частин: рухомої і нерухомої. Рухома частина зображається диском, на якому в центрі знаходиться північний полюс світу від якого розходяться у вигляді прямих ліній кола схилень.

## 5. Перший закон Кеплера

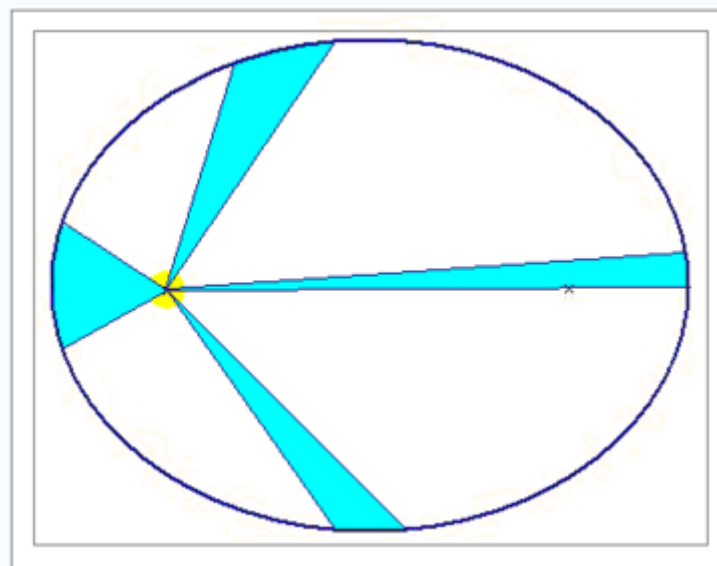


Всі планети обертаються навколо Сонця по еліптичній орбіті в одному з фокусів якого знаходиться Сонце.

Найближча до Сонця точка орбіти називається перигелієм, а найдальша від нього точка — афелієм.

Ступінь витягнутості еліпса характеризується його ексцентриситетом. Ексцентриситет дорівнює відношенню відстані фокуса від центра до довжини великої півосі (середньої відстані планети до Сонця). Коли фокуси й центр збігаються, еліпс перетворюється в коло. Орбіти планет — еліпси, які мало відрізняються від кіл; їхні ексцентриситети малі. Наприклад, ексцентриситет орбіти Землі  $e = 0,017$ .

### Другий закон Кеплера



**Радіус-вектор планети (тіла Сонячної системи) описує за рівні проміжки часу рівновеликі площі.**

Разом зі зміною відстані планети до Сонця міняється і швидкість її руху по орбіті, внаслідок чого площа, яку "замітає" радіус-вектор за певний проміжок часу, не залежить від того, в якій частині орбіти проводилося вимірювання. Площа, яку "замітає" радіус вектор за одиницю часу називається **секторною (сегментною) швидкістю**.

Лінійна швидкість руху планети неоднакова в різних точках її орбіти. Швидкість планети під час її руху по орбіті тим більша, чим ближче вона до Сонця. У перигелії швидкість планети найбільша, в афелії найменша. Таким чином, другий закон Кеплера кількісно визначає зміну швидкості руху планети по еліпсу.

З точки зору класичної механіки, другий закон Кеплера є проявом закону збереження моменту імпульсу.

### **Третій закон Кеплера**

**Квадрат періоду обертання планети навколо Сонця прямо пропорційний кубу довжини великої півосі еліпса.**

На відміну від двох перших законів Кеплера, що стосуються властивостей орбіти кожної окремо взятої планети, третій закон пов'язує властивості орбіт різних планет між собою. Якщо періоди обертання двох планет  $T_1$  та  $T_2$ , а довжини великих півосей їхніх орбіт, відповідно,  $a_1$  та  $a_2$ , то виконується таке співвідношення:

$$\left(\frac{T_1}{T_2}\right)^2 = \left(\frac{a_1}{a_2}\right)^3.$$

Цей закон Кеплера пов'язує середні відстані планет від Сонця з їхніми зоряними періодами і дає змогу встановити відносні відстані планет від Сонця, оскільки зоряні періоди планет уже були обчислені за синодичними періодами, інакше кажучи, дає змогу подати великі півосі всіх планетних орбіт в одиницях великої півосі земної орбіти.

Велику піввісь земної орбіти взято за астрономічну одиницю відстаней, але її значення визначили пізніше, лише у XVIII столітті.

Стале для всіх планет відношення кубу півосі до квадрату періодів є сталою для Сонячної системи і залежить лише від маси Сонця і гравітаційної сталої, як показав пізніше Ньютон:

$$\frac{a_1^3}{T_1^2} = \frac{GM_{\odot}}{4\pi^2}.$$

Таким чином це співвідношення дає можливість «зважити» Сонце,

### **Відхилення від законів Кеплера**

З точки зору фізики, закони Кеплера описують рух матеріальної точки навколо нерухомого центра у рамках ньютонівської теорії гравітації. Насправді на рух планети впливає сила тяжіння не лише з боку Сонця, а й з боку інших планет. Сонце має скінченну масу, а отже центр Сонця рухається внаслідок дії сили тяжіння планет. Крім того, ньютонівська теорія не враховує релятивістські ефекти, які можна розрахувати лише у рамках загальної теорії відносності. Перераховані фактори призводять до збурень — незначних відхилень фактичного руху планет від законів Кеплера.