

План заняття 7

ТЕМА 4. Сонячна система.

2 год.

Тема заняття: Малі тіла Сонячної системи – астероїди, комети, метеори. Дослідження планет за допомогою космічних апаратів. Етапи формування планетної системи.

Мета заняття:

навчальна: Засвоїти правило Тиціуса – Боді; сформувати поняття про астероїди, комети та їхні основні характеристики; пояснити природу малих тіл Сонячної системи; дослідження планет за допомогою космічних апаратів; вивчити можливості запобігання космічним катастрофам у майбутньому

розвивальна: сформувати уявлення про астероїдну небезпеку; виявити причини деяких екологічних катастроф у минулому Землі; розглянути етапи формування планетної системи. Розвивати самостійність, творчу уяву, вміння аналізувати, порівнювати, класифікувати.

виховна: продовжити виховання патріотичних почуттів через ознайомлення з досягненнями вітчизняної науки і техніки в галузі ; продовжити формування наукового світогляду шляхом розкриття можливостей пізнання Всесвіту на основі астрономічних і космічних досліджень.

Тип заняття: Засвоєння нових знань.

Методи навчання: розповідь, пояснення, бесіда, демонстрація

Міжпредметні зв'язки: Фізика, математика.

Обладнання: фотографії, презентація.

Література: Пришляк М.П. Астрономія: Підручник для загальноосвітніх навчальних закладів. – Х: «Ранок», 2011р.

Климишин І.А. Крячко І.П. Астрономія: Підручник для 11 класу для загальноосвітніх навчальних закладів. – Київ: Знання України, 2003.

Александров Ю.В., Грецький А.М., Пришляк М.П. Астрономія. 11 кл.: Книга для вчителя. –Х.: Веста Видавництво «Ранок», 2005.- 256с.

Ребрік Р.М., Сутулін М.Г. Фізика. Астрономія. – 2006.

Ресурси мережі Інтернет.

План заняття.

I. Організаційний момент.

II. Повідомлення теми, мети, плану вивчення теми.

III. Актуалізація опорних знань студентів.

IV. Мотивація навчальної діяльності.

V. Пояснення нового матеріалу

VI. Закріплення вивченого матеріалу. Підсумки заняття.

VII. Домашнє завдання.

Нові поняття

Метеорне тіло, яке впало на Землю, називається метеоритом. Щороку на поверхню Землі випадає близько 500 метеоритів масою від 1 кг і більше, проте знаходять їх лише приблизно 20. Окрім тіл природного походження, в навколосемному просторі налічують понад 7 500 штучних об'єктів. Серед

них лише 6% функціонують, а решта – залишки ракет-носіїв, фрагменти зруйнованих КА, тіла супутників, які виробили свій ресурс тощо – це так зване космічне сміття. Воно може випадати на Землю, створюючи космічну загрозу.

Структура та зміст заняття.

I. Організаційна частина

Перевірка готовності групи до заняття, відмічання відсутніх. Стимулювання діяльності студентів, забезпечення їхньої загальної готовності, забезпечення своєчасного й організованого початку заняття.

II. Повідомлення теми, мети, плану вивчення теми.

II. Актуалізація опорних знань студентів.

Перевірку знань проводимо за допомогою тестів.

Тест

1. Яка з планет не належить до земної групи?

а) Марс; б) Меркурій; в) Плутон; г) Венера.

1. На якій планеті є Велика Червона Пляма?

а) Земля; б) Марс; в) Уран; г) Юпітер.

1. Яка з названих планет має найменше супутників?

а) Марс; б) Сатурн; в) Земля; г) Уран.

1. Хто відкрив планету Уран?

а) Галілей; б) Гершель; в) Ньютон; г) Гюйгенс.

1. На якій із планет розташований вулкан Олімп?

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

1. Яка з планет розташована між Юпітером і Ураном?

а) Марс; б) Плутон; в) Нептун; г) Сатурн.

1. Вміст якої речовини в атмосфері спричиняє парниковий ефект?

а) кисень; б) вуглекислий газ; в) метан; г) етиловий спирт.

1. Яка із планет не є планетою-гігантом?

а) Марс; б) Уран; в) Нептун; г) Сатурн.

1. Яка планета є найбільшою у Сонячній системі?

а) Сатурн; б) Юпітер; в) Земля; г) Нептун.

1. Який супутник є найбільшим у Сонячній системі?

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

1. Яку особливість має супутник Титан?

а) має найменшу масу; б) має атмосферу; в) має озера та річки; г) має свій супутник.

1. Рік відкриття якого супутника невідомий?

а) Фобоса; б) Нереїди; в) Місяця; г) Міранди.

ІІІ. Активізація пізнавальної діяльності студентів.

На сьогоднішній день в ЗМІ дуже багато говориться про астероїдну небезпеку.

1. Що ви знаєте про ці тіла?

2. Яка небезпека мається на увазі?

3. Які ще космічні тіла ви знаєте?

4. Чи знаєте ви в чому полягає різниця між метеором, і метеоритом?

ІV. Мотивація навчальної діяльності.

Вивчення даної теми допоможе нам зрозуміти загадковий пояс астероїдів, дізнатися про небезпечні астероїди, розібратися в чому різниця між метеорами та метеоритами, з'ясувати, коли в Сонячній системі з'явилися планети-карлики.

V. Повідомлення теми, мети, плану вивчення теми.

План вивчення теми

1. Правило Боді — Тиціуса.

2. Астероїди. Родини астероїдів.

3. Метеорити. Тунгуський метеорит.

4. Комети.

5. Метеорні потоки.

6. Роль малих тіл Сонячної системи в екологічних катастрофах.

7. Етапи формування нашої планетної системи.

Вивчення нового навчального матеріалу.

Теоретичні відомості.

У Сонячній системі, окрім Сонця і восьми великих планет, є ще так звані малі тіла. Це *малі планети* або *астероїди*, *комети*, *метеорні тіла* або *метеороїди* і *міжпланетний пил*.

Правило Тиціуса-Боде. У 1766 році німецький фізик та математик Тиціус запропонував емпіричне правило, згідно з яким наближено визначались відстані від Сонця до планет. Завдяки працям німецького астронома Боде ця закономірність стала загальновідомою. Правило Тиціуса-Боде:

До кожного елементу послідовності $D_i = 0, 3, 6, 12, \dots$ додається 4, а результат ділиться на 10. Одержане число вважається радіусом орбіти i -ї планети в астрономічних одиницях. Тобто,

$$R_i = \frac{D_i + 4}{10}.$$

Послідовність D_i — геометрична прогресія, крім першого числа. Тобто, $D_{-1} = 0$; $D_i = 3 \cdot 2^i, i \geq 0$.

Цю формулу можна записати по-іншому:

$$\begin{aligned} R_{-1} &= 0,4, \\ R_i &= 0,4 + 0,3 \cdot 2^i. \end{aligned}$$

Існує і інше визначення:

Для будь-якої планети відстань від неї до самої внутрішньої планети (Меркурія) в двічі більше, ніж відстань від попередньої планети до внутрішньої планети:

$$R_i - R_{\text{Mercury}} = 2 \cdot (R_{i-1} - R_{\text{Mercury}}).$$

Для Меркурія $n=-\infty$, для Венери $n=0$, для Землі $n=1$ і т.д

Згідно з цим правилом на відстані 2,8 а.о. від Сонця (для $n=3$) мала б рухатися планета. У 1789 році розпочалися інтенсивні пошуки ще однієї планети між Марсом та Юпітером, які швидко увінчалися успіхом. Італійський астроном Джузеппе Піацці (1746-1826) 1 січня 1801р., займаючись складанням каталогу зір, знайшов зореподібний об'єкт 7", який за добу змістився на 6'. Цю першу з малих Новій планеті дали назву *Церера* (за римською міфологією — богиня землеробства). За Церерою почали уважно спостерігати - вона виявилася невеликою, навіть меншою за Місяць, але оберталася навколо Сонця між орбітами Марса і Юпітера. Яке ж було здивування астрономів, коли через кілька років недалеко від Церери знайшли ще одну малу планету — її назвали *Палладою* (одним з імен богині мудрості *Афіни*). Потім були відкриті ще дві — *Юнона* та *Веста*. Виявилося, що перший відкритий астероїд найбільший за розмірами — діаметр Церери дорівнює 960 км. Цереру відносять до класу планет-карликів.

Астероїдам присвоюють порядковий номер та назву, яку пропонує автор відкриття. Астероїдам з добре визначеними орбітами привласнюють номери (в порядку відкриття) і назви. Рухаються астероїди навколо Сонця в той же бік, що й планети, і мають витягнуті еліптичні орбіти. Деякі виходять далеко

за межі поясу астероїдів. Включаючи Плутон, пояс Койпера починається за орбітою Нептуна і тягнеться, як гадають, на відстань до 150 а.о. На початок 2000р. Було відомо близько 120 планетоїдів з розмірами до 400 кілометрів. **Ступінь ризику** – це добуток ймовірності космічної катастрофи на кількість можливих людських жертв. Спочатку за традицією астероїдам давали назву на честь міфологічних богинь, але з часом кількість відкритих малих планет перевершила все «божественне» населення Олімпу, тому зараз нові космічні тіла називають на честь країн, міст, видатних вчених, поетів і діячів мистецтва. Велику кількість малих планет відкрив у Кримській астрофізичній обсерваторії астроном М. С. Черних (1931—2006).

Таємниці астероїдів. Чому між Марсом та Юпітером знаходиться не одна велика планета, а безліч малих тіл? Для пояснення цієї загадки німецький астроном Г.Ольберс (1758—1840) висунув гіпотезу, що між Марсом та Юпітером колись існувала планета *Фаетон*, яка чомусь вибухнула. Причиною катастрофи могли бути зустріч планети з іншим космічним тілом. На користь теорії вибуху планети свідчить те, що більшість астероїдів мають вигляд осколків неправильної форми. Сучасні дослідження розподілу орбіт малих планет показують, що, скоріше за все, між Марсом та Юпітером великої планети ніколи не було, а *пояс астероїдів* — це залишки тої речовини, з якої 4,5 млрд. років тому утворилися планети Сонячної системи. За орбітою Нептуна знаходиться кільце маленьких планетоподібних тіл (так званий *пояс Койпера*), які через гравітаційні збурення можуть змінювати параметри своєї орбіти. Зіткнення з іншою планетою або супутником викличе руйнування цих тіл і утворення окремих фрагментів, які будуть обертатися по самостійних орбітах. Якщо врахувати, що ймовірність зустрічі осколків зростає зі збільшенням їхньої кількості, то пояс астероїдів може бути своєрідною машиною для дроблення космічних тіл на фрагменти. Проте, що малі планети продовжують ділитися, свідчить відкриття так званих сімейств, або груп, астероїдів. У 1918 р. японський астроном К.Гіраяма звернув увагу на деякі групи астероїдів, що мають схожі параметри орбіт. Такі групи астероїдів називали сімействами Гіраями — вони могли утворитися після зіткнення більш великих тіл. Астероїди рухаються навколо Сонця в той же бік, що й планети, і мають, як правило, еліптичні орбіти.

Небезпечні астероїди. Зараз найбільшу увагу астрономів привертають астероїди групи Аполлона, Амура і Атона, бо в перигелії вони наближаються до Землі або навіть перетинають її орбіту. Наприклад, у 1932 р. астероїд 1862 Аполлон (діаметр 3 км) пролетів мимо Землі на відстані 0,028 а.о. Ще ближче від Землі у 1994 р. пролетів астероїд 1994 ХМ1 — від катастрофи нас відділяло лише 112 000 км у просторі та 1 година у часі. Хоча ймовірність зустрічі з окремим астероїдом досить мала, але, враховуючи їхню значну кількість та глобальні наслідки зіткнення, *ступінь ризику* загинути від космічної катастрофи виявився таким самим, як від звичайної повені або авіакатастрофи. За сучасними даними існують близько 2000 астероїдів з діаметром більше ніж 1 км і кілька сотень тисяч з діаметром більше 100м, які перетинають орбіту Землі. Під час зустрічі Землі з астероїдом діаметром 1 км

виділиться енергія, яка еквівалентна вибуху мільйонів атомних бомб. Крім того, викид пилу в атмосферу призведе до утворення суцільної хмарності, тому поверхня Землі буде отримувати менше сонячної енергії. Зниження температури може дати початок новому *льодовиковому періоду*.

Для врятування нашої цивілізації зараз створений міжнародний Фонд «Космічна варта», розроблена програма пошуків небезпечних астероїдів і комет та обчислення їхніх орбіт. Значний внесок в ці дослідження зробили українські астрономи Києва (В.Кручиненко, К.Чурюмов), Криму (М.Черних) та Харкова (Д.Лупішко).

У майбутньому технічні можливості людства дозволять уникнути ймовірної катастрофи від зустрічі з астероїдами, якщо можна буде якось змінювати їхні параметри орбіти. Вибух атомної бомби в космосі може змінити орбітальну швидкість тільки у випадку, якщо астероїд буде монолітним твердим тілом. Дослідження астероїда Ероса свідчать, що навіть невеликі космічні тіла складені з окремих фрагментів, які під час вибуху можуть розлетітися на окремі осколки, орбіти яких розрахувати наперед неможливо.

Метеори та метеорити. Назви *метеор* та *метеорит* у перекладі з грецької означають «той, що перебуває в повітрі». Астрономи колись вважали, що падаючі зорі - суто атмосферне явище, щось подібне до звичайної блискавки. *Метеорні частинки* — це космічний пил який ніколи до поверхні Землі не долітає, бо він згоряє та випаровується в атмосфері на висоті кількох десятків кілометрів. *«Метеором», або падаючою зорею*, ми називаємо світлове явище, яке викликає іонізоване повітря на шляху польоту метеорної частинки, бо саму мікроскопічну порошинку помітити неможливо. *Метеорити* мають більшу масу, тому вони можуть досягти поверхні Землі. Коли метеоритне тіло з великою швидкістю летить в атмосфері, то через опір повітря воно нагрівається до $+10000^{\circ}\text{C}$ і починає світитися, як розжарена куля, яку називають *болідом* (з грец. *спис*). Під час польоту боліда з надзвуковою швидкістю в атмосфері виникає ударна хвиля, яка створює потужні звукові коливання, тому людина чує сильний гуркіт. Включаючи Плутон, пояс Койпера починається за орбітою Нептуна і тягнеться, як гадають, на відстань до 150 а.о. На початок 2000 р. Було відомо близько 120 планетоїдів з розмірами до 400 кілометрів.

Комети. Певно, найефектнішими малими тілами Сонячної системи є комети. У перекладі з грецької слово «комета» означає «довговолоса». Едмонд Галлей (1656-1742) визначив, що ці світила належать до Сонячної системи. Дотепер зареєстровано близько 1100 комет. Орбіти комет – це дуже витягнуті еліпси. Від ступеня витягнутості еліпса залежить і період обертання комети навколо Сонця. Наприклад, комета Енkv має період обертання навколо Сонця 3,31 роки. Найвідоміша серед комет – комета Галлея – повертається до Сонця кожні 75,5 років. Її появу у близьких до Сонця околицях зареєстровано вже 30 разів, із них двічі – у ХХ ст. (1910 і 1986 рр.). *Метеорне тіло, яке впало на Землю, називається метеоритом.* Щороку на поверхню Землі випадає близько 500 метеоритів масою від 1 кг і більше, проте знаходять їх лише приблизно 20. Окрім тіл природного

походження, в навколоземному просторі налічують понад 7500 штучних об'єктів. Серед них лише 6 % функціонують, а решта – залишки ракет-носіїв, фрагменти зруйнованих КА, тіла супутників, які виробили свій ресурс тощо – це так зване космічне сміття. Воно може випадати на Землю, створюючи космічну загрозу.

Болід — світлове явище, яке супроводжує політ метеоритного тіла в атмосфері

Метеоритне тіло — це осколок астероїда, який, обертаючись навколо Сонця, зіткнувся з планетою. Тобто метеорити мають астероїдне походження. Швидкість, з якою метеор чи метеорит влітає у земну атмосферу, залежить від напрямку його руху відносно вектора швидкості Землі. Найбільшу швидкість входження в атмосферу (50—70 км/с) мають ті метеоритні тіла, які летять назустріч руху Землі, коли швидкості боліда та Землі додаються. Швидкість метеора і метеоритного тіла під час входження в атмосферу Землі не може бути меншою за 11,2 км/с, бо навіть коли астероїдне тіло «доганяє» нашу планету, то через земне тяжіння його швидкість починає зростати. Нині за рахунок метеоритної речовини маса Землі збільшується на 500000т за рік. На Землі астрономи та геологи виявили більше сотні метеоритних кратерів різного діаметра, які називають *астроблемами* (від грец. — *зоряні рани*), але більшість кратерів не збереглася, бо протягом віків атмосферні процеси знищували сліди космічних катаклізмів. Велику кільцеву структуру метеоритного походження діаметром 7 км виявили в Україні в Іллінецькому районі Вінницької області. Геологічні дослідження показують, що початкова маса метеорита була не меншою ніж 1011кг. На територію України щорічно падають кілька метеоритів масою від 1 кг і більше, тому астрономи звертаються до всіх з проханням допомогти в пошуках цих космічних мандрівників. Зверніть увагу на падіння болідів, які летять з надзвуковою швидкістю, тому виникає різкий вибуховий звук, як при польоті реактивного літака, коли він перетинає звуковий бар'єр. Уночі під час польоту боліда видно яскраве свічення у вигляді розжареної кулі, яка може розділитися на осколки.

Загадка Тунгуського метеорита. Найбільшим метеоритом ХХ ст. можна вважати Тунгуський, який упав 30 червня 1908 р. поблизу річки Підкам'яна Тунгуска (притока Єнісею) у Сибіру. Його політ в атмосфері спостерігали по трасі завдовжки майже 5000км. Яскравість боліда була настільки великою, що здавалося, наче від Сонця відділився кусок і полетів по небу. Потім стався вибух, який було чути на відстані 2000км від місця падіння. Сейсмічні станції зареєстрували землетрус, а сейсмічні хвилі двічі обігнули Землю. Розрахунки показали, що при падінні метеорита виділилася енергія 1017Дж — таку енергію виділяє вибух найбільш потужних водневих бомб. У 1926 р. Академія наук України організувала першу експедицію в район падіння Тунгуського метеорита, її очолив професор Л.Кулик. Цікава таємниця, яку виявила експедиція, — відсутність кратера та осколків на місці падіння метеорита, тому вчені висунули гіпотезу, що метеорит міг вибухнути в повітрі. Про це свідчать стовбури повалених дерев на місці катастрофи.

Площа поваленого та спаленого лісу займає близько 5000 км², але в епіцентрі повітряного вибуху, де ударна хвиля поширювалася перпендикулярно до поверхні Землі, стовбури дерев не були повалені. Залишається таємницею, куди поділися осколки Тунгуського метеорита під час вибуху. Найбільш вірогідним поясненням цих аномальних явищ може бути гіпотеза про те, що метеорит був льодяним ядром невеликої комети, яке вибухнуло в атмосфері Землі. Газові компоненти ядра випарувалися, а тверді силікатні частинки розплавився і випали на поверхню у вигляді мікроскопічних частинок.

Комети (від грец. *волохатий*) своїм незвичним виглядом привертають найбільшу увагу людей, бо вони мають дивний гарний хвіст. Комети є залишками космічної речовини, з якої утворилися планети Сонячної системи. Ці частинки слабо пов'язані між собою і тому легко розпадаються на фрагменти. За традицією кометі дають назву на честь тих астрономів, які першими побачили її на небі. Часто комети відкривали аматори астрономії і навіть школярі. На честь українських астрономів названі комети, Герасименка, Неуйміна Скоритченка, Черних, Чурюмова, Шайна. Найбільш знаменитою кометою можна вважати комету *Галлея*, яку спостерігають вже кілька тисячоліть. Директор Гринвіцької обсерваторії Е.Галлей (1656—1742) вперше визначив орбіту комети, яку було видно у 1682 р. Для цього він вивчив стародавні літописи і звернув увагу на те, що одна з комет з'являлася на небі з постійним періодом 76 років. За допомогою третього закону Кеплера Галлей визначив велику, піввісь орбіти та передбачив її появу у 1758р. останній раз комету Галлея спостерігали у 1986 р., а наступний її приліт до Землі очікується у 2061 році. Тривалий час загадкою для астрономів був довгий хвіст комети, який інколи простягається на сотні мільйонів кілометрів, причому напрямок хвоста змінюється таким чином, що він весь час відхиляється в протилежний від Сонця бік. Здається, що хвіст до Сонця не притягується, а навпаки, відштовхується, начебто від Сонця дме своєрідний вітер. Звичайно, хвіст комети притягується до Сонця, але для частинок з діаметром меншим ніж 10^{-5} м сила відштовхування стає більшою за силу притягання. Хвіст комет саме і складається з мікроскопічних частинок космічного пилу, на які діє відштовхувальна сила сонячного вітру. Ядро комети з якого утворюється хвіст, складається в основному з льоду. Вперше воно було сфотографоване радянською АМС «Вега» у 1986 р. Діаметр таких льодових ядер може бути всього кілька десятків кілометрів, тому на великій відстані від Землі їх не видно. Лід у ядрах тих комет, які часто підлітають близько до Сонця, з часом повністю випаровується. Від комети залишаються тверді силікатні пилінки, які продовжують рух по орбіті і перетворюються у метеорні потоки. Якщо Земля перетинає орбіту такого метеорного потоку, то спостерігається «зоряний дощ», коли одночасно можна побачити тисячі метеорів. Данський астроном Я.Оорт висунув гіпотезу, що за орбітою Нептуна можуть бути мільйони таких кометних ядер (*хмара Оорта*), але з них тільки невелика кількість підходить в перигелії близько до Сонця. Під впливом гравітаційного збурення великих планет комети можуть змінити свою орбіту і навіть зіткнутися з ними. Такою

катастрофою міг бути також вибух Тунгуського метеорита. У 1994 р. комета Шумейкера — Леві впала на Юпітер, і при цьому зіткненні виділилася енергія, яка дорівнює вибухові мільйонів ядерних бомб. Чи можна якось використати астероїди і комети для потреб нашої цивілізації. Можливо, що в майбутньому астероїди можна пристосувати як бази для міжпланетних експедицій. Деякі астероїди можуть містити рідкісні хімічні елементи, які можна було б застосовувати при спорудженні космічних поселень як у космосі, так і на поверхні супутників планет. При космічному будівництві треба пам'ятати, що прискорення вільного падіння на астероїдах дуже мале, тому один необережний поштовх ногою може надати тілу другої космічної швидкості. Температура на поверхні астероїдів залежить від кольору поверхні та відстані до Сонця. У головному поясі астероїдів на відстані 2,8 а.о. від Сонця температура на денному боці рідко піднімається вище ніж 0°C, але астероїди групи Аполлона, Амура і Атона, які рухаються по дуже витягнутих орбітах, у перигелії можуть нагріватися до +500° С.

Планети-карлики. Вперше цей новий клас тіл Сонячної системи з'явився у серпні 2006 р. на з'їзді Міжнародного Астрономічного Союзу (МАС) у Празі. Тоді ж було змінено статус *Плутона*, який до цього був дев'ятою планетою Сонячної системи, а відтепер він став першою *планетою-карликом*. Плутон був відкритий у 1930 р., коли астрономи шукали об'єкт, який вважався причиною невеликих збурень орбіти Нептуна і Урана. Сам Нептун був відкритий у 1846 р., коли математики використали збурення орбіти Урана, і передбачили існування восьмої планети. Майже ціле століття астрономи шукали дев'яту планету, яка могла викликати невеликі збурення орбіти Урана, бо гравітаційним впливом Нептуна можна пояснити тільки 98% збурень орбіти цієї планети.

Ще в 1956 р., астрономи помітили, що Плутон трохи змінює свою яскравість з періодом 6,4 доби. Це наводило на думку, що на його поверхні є темні області і планета обертається навколо осі з періодом 6,4 доби. Тільки після того, як відкрили супутник Плутона, математики отримали можливість визначити масу планети. У 1978 р. астрономи звернули увагу на те, що на фотографії Плутона видно невеликий виступ на його дискові. Продовжуючи спостереження, вчені прийшли до висновку, що Плутон має супутника, якого назвали *Хароном* на честь міфічного човняра, який перевозив душі померлих людей у потойбічний світ. Він обертається навколо планети з періодом 6,4 доби. У 2006 р. за допомогою-космічного телескопа Габбла були відкриті ще два невеликі супутники Плутона *Нікс* і *Гідра*. У грецькій міфології Нікс була богинею ночі і матір'ю Харона. Третій крайній супутник Плутона назвали *Гідрою*, на честь дев'ятиголової міфологічної змії, яка охороняла володіння Плутона.

Ця проблема зацікавила американського мільйонера Парсівалю Ловелла, який продав частину своїх маєтків і у 1894 р. в штаті Арізона побудував астрономічну обсерваторію спочатку для пошуків життя на Марсі. Потім до самої смерті у 1916 р. Ловелл ще вів пошуки і дев'ятої планети, які, на жаль, за його життя не увінчалися успіхом.

У 1920 р. на Ловелській обсерваторії був змонтований новий фотографічний телескоп, за допомогою якого астрономи випробували удосконалений метод пошуку планети Х. Для цього, за допомогою інструмента, який називається блінк-компаратор, можна було, використовуючи плоске дзеркало, по черзі спостерігати дві фотографії однієї і тої самої ділянки зоряного неба, які зроблені з інтервалом у кілька діб. Два кадри фото розміщені в компараторі таким чином, що зорі в кожному кадрі з'являлися на тому ж місці. Якщо об'єкт рухається відносно зір, то він буде при перегляді перескакувати від однієї точки до іншої. Пошук планети в такий спосіб — досить нудна і кропітка робота, до того ж фотографувалися зорі в сузір'я Близнят, де знаходяться безліч слабких зір Молочного Шляху. Тому тільки через 10 років після монтажу нового телескопа 18 лютого 1930 р. Клайд Томбо знайшов розходження на двох кадрах фотографії, але він повідомив про відкриття нової планети тільки 13 березня в 75-у річницю народження Ловелла. Планету назвали на честь міфічного Бога підземного царства Плутона. Плутон має досить витягнуту в порівнянні з іншими планетами орбіту з ексцентриситетом $e = 0,25$, це означає що різниця між відстанню до Сонця в перигелії та афелії суттєво відрізняється. Плутон був найближче до Землі і до Сонця у 1989 р., і найдалше буде у 2113 р. Освітленість планети Сонцем за цей час змінюється майже в 3 рази, тому і яскравість Плутона на нашому небі відповідно змінюється більше ніж на одну зоряну величину. Якщо зараз його видима зоряна величина під час протистояння дорівнює приблизно $+13,9m$, то в афелії не перевищує $+15m$. У зв'язку з тим, що Плутон має дуже витягнуту орбіту з великим ексцентриситетом і за масою і розмірами є набагато меншим за інші планети Сонячної системи, деякі астрономи вважають, що Плутон був колись супутником Нептуна, адже Юпітер, Сатурн, Нептун і Земля мають набагато більші за нього супутники. Можливе зіткнення або проходження недалеко невідомого космічного тіла призвело до того, що Плутон покинув гравітаційне поле Нептуна і став самостійно обертатися навколо Сонця. Статус Плутона як планети поступово ставав підозрілим ще й тому, що його орбіта нахилена під значним кутом до площини екліптики порівняно з будь-якою планетою Сонячної і системи, і трохи нагадує орбіти комет. У 1951р., аналізуючи орбіти комет, астроном Ж. Койпер передбачив існування за Нептуном поясу астероїдів, який тепер офіційно назвали *поясом Койпера*. Астрономічні спостереження за допомогою сучасних телескопів підтвердили цю гіпотезу ще у 1990 р., коли за Плутоном почали відкривати нові об'єкти поясу Койпера. З наукової точки зору ставало очевидним, що Плутон більше схожий на членів цієї групи, ніж на інші 8 планет Сонячної системи. Поки Плутон був найбільшим об'єктом поясу Койпера, Міжнародний Астрономічний Союз вважав прийнятним, щоб залишати його планетний статус. Потім, у липні 2005 р. відкрили новий об'єкт поясу Койпера, який був навіть більший за Плутон, тому деякі астрономи стали називати його 10-ю планетою. Кругле тіло, яке має діаметр майже 2400 км, знаходиться на відстані 16 млрд. км від Сонця. Нову планету неофіційно прозвали «*Ксеною*» (з грецької — *чужа*). Це відкриття стало

фатальним ударом для статус-кво дев'яти планет, бо якщо Плутон вважають планетою, то Ксена теж має належати до класу планет. Тому перед астрономами постали питання, що робити з іншими об'єктами поясу Койпера, які тільки не набагато менші ніж Плутон, а у майбутньому на околицях Сонячної системи можуть відкрити ще більші тіла. Для розв'язання цієї проблеми в Міжнародному Астрономічному Союзі був створений спеціальний комітет, який спочатку пропонував вважати Плутон і Ксену планетами. У цьому випадку планетою можна вважати і найбільший астероїд *Цереру*, яка була відкрита в 1801 р. Цю пропозицію відхилили, бо внаслідок цього виникнуть логічні нісенітниця такого типу: восьму планету Нептун було відкрито у 1846 р., в той час як астероїд Цереру відкрили раніше — у 1801р. Для того, щоб вивести Цереру і Ксену із класу планет на з'їзді МАС запропонували визначення планети, додавши, що планета має бути не тільки круглої форми, але повинна бути також бути єдиним тілом на своїй орбіті. За цим визначенням Церера не може бути планетою, бо вона є одним із багатьох астероїдів зі схожими орбітами. Але Плутон теж втрачає статус планети, оскільки він один з багатьох об'єктів у поясі Койпера, і до того ж його орбіта фактично перетинається з орбітою Нептуна. У вересні 2006 р. колишня 9-а планета Плутон була позначена астероїдним номером 134340, офіційну назву та номер отримав вище згадуваний об'єкт в поясі Койпера з умовною назвою «Ксена». Він тепер має номер 136199 та назву *Ерінея*. На вересень 2006 р. зареєстровано 3 планети-карлики: *Церера*, *Плутон*, *Ерінея*.

Формування Планетної системи. Теорія, яка розглядає походження Сонячної системи, повинна пояснювати такі факти:

- ◆ орбіти всіх планет лежать практично у площині сонячного екватора;
- ◆ планети рухаються навколо Сонця по орбітах, близьких до кола;
- ◆ напрямок обертання планет навколо Сонця однаковий для всіх планет і збігається з напрямком обертання Сонця і власним обертанням планет (окрім Венери, Урана і Плутона); у тому ж напрямку, що і планети навколо Сонця, обертається навколо них більшість їхніх супутників;
- ◆ середня відстань планет від Сонця (за винятком Нептуна і Плутона) підлягає правилу Тиціуса-Боді; Поки Плутон був найбільшим об'єктом поясу Койпера, Міжнародний Астрономічний Союз вважав прийнятним, щоб залишати його планетний статус.
- ◆ планети поділяються на дві групи, різко відмінні між собою за середньою густиною, хімічним складом, розмірами і внутрішньою будовою. Впродовж останніх 300 років, починаючи з Декарта (1596-1650), було висловлено кілька десятків космогонічних гіпотез і розглянуто найрізноманітніші варіанти ранньої історії Сонячної системи. Серед мислителів минулого, які намагалися пояснити її походження, були Ж. Бюффо (1707-1788), І. Кант (1724-1804), П. Лаплас (1749-1827), Дж. Джінс (1877-1946) та інші. Але всі гіпотези мали один недолік - добре пояснюючи одну частину спостережних фактів, вони виявлялися безпорадними перед іншою. Наприклад, гіпотеза Лапласа, що припускала виникнення планет із розжареної туманності, не змогла пояснити особливості розподілу моменту кількості руху між

планетами і Сонцем. При розробці космогонічної гіпотези перш за все необхідно вирішити питання: звідки взялася матерія, з якої утворились планети? На сьогодні найбільш імовірним видається варіант, за яким планети утворились із того ж газопилового диска, що й Сонце. Велика роль у розробці цього варіанту належить О.Ю.Шмідту (видатний математик і астроном, 1891-1956), котрий першим висунув гіпотезу про те, що Земля та інші планети сформувалися з холодних допланетних тіл - планетезималей. Спостережні дані, отримані за допомогою космічних і найпотужніших земних телескопів, підтверджують, що біля багатьох молодих зір головної послідовності справді є навколосоряні пилові оболонки дисковидної форми, які утворилися разом із зорею під час її формування з протозоряної туманності. Розглянемо можливий сценарій утворення планетної системи, уточнений сучасними теоретиками. Найважливіше в цьому сценарії те, що він спирається не тільки на єдиний ще до недавнього часу приклад Сонячної системи, але і на приклади інших планетних систем, відкритих за останні роки. Теорія походження планетних систем біля зір, хоча і не сформульована ще остаточно, має тепер під собою надійну спостережну основу. Маса газопоилового диска, який оточує протозору, становить кілька відсотків від маси Сонця і спочатку може мати розміри, порівнянні з її розмірами. Хімічний склад такого диска відповідає складу міжзоряних туманностей – 99% газу і 1% пилових частинок розмірами від 0,1мкм до 1мм. При підвищенні температури протозорі нагрівається і диск, частинки пилу випаровуються, молекули газу розпадаються на атоми, атоми іонізуються, а розміри диска за рахунок сильної турбуленції - різнонаправленого хаотичного руху частинок - збільшуються до кількох десятків астрономічних одиниць. Перший етап еволюції *протопланетного диска* (ППД), який триває близько 1000років. На другому етапі формування ППД частинки збільшуються у розмірах, зіштовхуються одна з одною, злипаються. І коли густина пилу стає вищою за густину газу в десятки разів, пиловий диск переходить у стан гравітаційної нестійкості, за якої навіть дуже маленькі згустки, що виникли випадково, не розсіюються, а навпаки, з часом стають ще більшими. Як наслідок, на третьому етапі еволюції ППД розпадається на безліч окремих малих згустків, які далі, зіштовхуючись і злипаючись, утворюють рій допланетних тіл різного розміру - планетозималі.

Акумуляція планет. Утворення планетезималей тривало десятки тисяч років. Подальше об'єднання їх у планети - набагато довший процес, який тривав сотні мільйонів років. Допланетний рій був складною системою великої кількості планетезималей. Всі вони, окрім однакової швидкості для тіл на однаковій відстані від Сонця, мали ще й власні швидкості з випадковим розподілом напрямків. Планетезималі зіштовхувались, дробились, і тільки найбільші серед них поступово збільшували свої маси за умови, що швидкість зіткнення не перевищувала 1 м/с. Внутрішню частину Сонячної системи утворили планети земної групи, їхній ріст відбувався за відсутності летких газів за рахунок кам'янистих частинок і тіл, що містили в собі залізо та інші метали. Основна маса газів розсіялась із зони планет

земної групи через видування їх сонячним вітром, який очистив від них і віддаленіші простори Сонячної системи. Проте планети-гіганти Юпітер і Сатурн встигли увібрати в себе достатню кількість газів, як і взагалі переважну частину речовини всієї планетної системи. Причому спочатку, як і в планетах земної групи, у них утворилися ядра із кам'янистих і льодових планетезималей, а потім поверх них нарощувались воднево-гелеві оболонки. Така схема утворення планет-гігантів підтверджується фактами. По-перше, з'ясувалося, що їхні ядра мають приблизно однакову масу - 14-20 мас Землі, тоді як частка водню і гелію закономірно зменшується. По-друге, існують такі «речові докази» ранньої історії планет-гігантів, як їхні супутники та кільця. Адже випадання газу на планети також супроводжується утворенням навколо них газово-пилових дисків. Із цих дисків і утворилися супутники, причому розподіл їхніх густин, розмірів і мас повторює розподіл планет на земну групу і планети-гіганти. Щодо найдальшої планети Плутон з його супутником Хароном, то, очевидно, ці два тіла - найближчі та найбільші серед понад сотисячної сім'ї транснептунових об'єктів поясу Койпера. Формування з них ще більш масивної планети через дуже повільний рух і низьку густину речовини йшло так повільно, що не завершилось і досі. І вже ніколи не завершиться, бо взаємні зіткнення, а також збурююча дія Урана і Нептуна значно зменшила їхню кількість. Особливості обертання навколо своїх осей Венери і Урана пояснюються тим, що в період «бурхливої» юності Сонячної системи ці планети пережили зустріч з дуже масивними планетезималями, такими, що енергії зіткнення виявилось достатньо для того, щоб Уран «покласти на бік», а у Венери змінити напрямок обертання навколо осі на протилежний.

Утворення астероїдів і комет. Оскільки загальна маса всіх астероїдів не перевищує 1/20 маси Місяця, то пояс астероїдів, подібно до кілець Сатурна, - це речовина, що не спромоглася стати планетою. Таке визначення дав свого часу О.Ю.Шмідт, який припустив, що процесові акумуляції завадило сусідство масивного Юпітера. Але чому ж тоді сам Юпітер сформувався не на місці поясу астероїдів, на відстані 3-4 а.о., а далі - на відстані 6 а.о.? Як вказують розрахунки, на відстані 3-4 а.о. ще є леткі речовини у газоподібному стані, тоді як на відстані Юпітера пролягає межа конденсації водяної пари. Тому в його зоні гравітаційна нестійкість виявилась раніше, тверді згущення росли набагато стрімкіше, ніж у зоні астероїдів. А далі Протоюпітер, набравши масу, своїм гравітаційним збуренням не дав сформуватися планеті у поясі астероїдів. Більше того, він змінив орбіти деяких із астероїдів так, що ті стали рухатися по витягнутих, а не колових орбітах, перетинаючи орбіти Марса, Землі і навіть Венери та Меркурія. Два таких невеликих астероїди свого часу були захоплені Марсом, перетворившись на його супутники. Деякі астероїди перетворилися з часом на супутники планет-велетнів і рухаються тепер навколо них не в прямому, а у зворотному напрямку (проти обертання планети навколо осі). Астероїди продовжують зіштовхуватися, дробитись на менші уламки, даючи початок метеорним тілам - метеороїдам, які й у наш час випадають на Землю та на

інші небесні тіла у вигляді метеоритів. Щодо комет, то за сучасними уявленнями періодичні комети приходять до Сонця із поясу Койпера. Всі інші комети - це льодяні планетезималі, закинуті планетами-велетнями в період формування планетної системи на відстань 100-150 тисяч а.о., де вони утворюють уже згадану велетенську і дуже розріджену кометну хмару Оорта. Кометна речовина під час руху комет поблизу Сонця поповнює міжпланетний простір пилом та газом, який вимітається сонячним вітром за її межі.

Земля на початку історії. Початок геологічної історії Землі тісно пов'язаний з її утворенням. Розрахунки показують, що ріст Землі до сучасних розмірів і маси тривав не менше 100млн років. При цьому температура її поверхні не перевищувала 350-400К. Її надра під дією гравітаційного стискання були дещо теплішими, але не набагато. Земля прогрілася завдяки тому, що в акумуляції брали участь дуже великі тіла радіусом до сотень кілометрів. Падіння таких тіл спричиняло утворення величезних кратерів, під якими до глибини 1-2 тис. км формувались зони високої температури, до 1500-2500 К. Іноді температура сягала точки плавлення гірських порід, і тоді вони розділялися за складом: важкі хімічні елементи (метали) опускалися до центра, а легкі спливали. Додатковий розігрів надр відбувався і за рахунок стиснення порід шарами, що лежали вище. Але основним джерелом розігріву планети був розпад радіоактивних елементів - урану, торію і калію, які в невеликих кількостях були в кам'янистій речовині. Атмосфера і гідросфера поступово виділилися з твердої речовини планети, оскільки гази і вода входять як складові у гірські породи. Аналізуючи хімічний склад Сонячної системи, ми знаходимо в планетах високий вміст тих хімічних елементів, які синтезуються під час термоядерних реакцій у надрах зір. Як вони потрапили у протопланетний диск? Відповідь одна - під час появи наднових, які шаленою силою вибуху розкидають їх у навколишній простір. Отже, слід припустити, що перш ніж з'явилася Сонячна система, речовина, з якої вона формувалась, безперервно поповнювалась важкими хімічними елементами внаслідок спалахів наднових у Галактиці. Ось такі основні риси сценарію, згідно з яким утворилась Сонячна планетна сім'я. Але цей сценарій дає відповіді не на всі запитання. Наприклад, не зовсім ясно, як утворився Місяць - супутник Землі; незрозуміло, чому у Венери і Меркурія супутники взагалі відсутні, тоді як навіть у деяких астероїдів і супутників планет, не кажучи вже про всі інші великі планети, супутники є? А зараз, коли відкрито інші планетні системи, ми знаходимо, що вони не зовсім схожі на Сонячну. Це свідчить про те, що в питанні походження та розвитку планет ще рано ставити крапку.

ВИСНОВКИ

Малі тіла Сонячної системи (планети-карлики, астероїди; комети, метеорні тіла) є залишками тої величезної хмари космічної речовини, з якої утворилися Сонце і великі планети Основний пояс астероїдів знаходиться між Марсом та Юпітером, але за орбітою Нептуна існують ще мільйони планетоподібних тіл (пояс Койпера) та мільйони кометних ядер (хмара Оорта). Астероїди, можливо стануть базами для дослідження космосу, а металічні астероїди можна використати як джерело для добування корисних копалин. Існує небезпека зустрічі Землі з тими астероїдами, орбіти яких наближуються до Землі або перетинають її орбіту.

VI. Закріплення вивченого матеріалу. Підсумки заняття.

1. Сформулюйте правило Тиціуса-Бодє. Як у відповідності з ним зростає відстань кожної наступної планети від Сонця?
2. Які складові виділяють у будові комети, коли вона проходить поблизу Сонця?
3. У чому полягає різниця між метеором, метеорним тілом (метеороїдом) і метеоритом?
4. Що таке «космічне сміття»?

VII. Домашнє завдання.: Л.1 с.86-92, тести с. 95.