ISBN 966-02-2074-X

КОСМОГО́НІЯ (грец. κοσμογονία, від κόσμος — світ, Всесвіт і γονή — народження) — наука, що вивчає походження та розвиток космічних тіл і їхніх систем: галактик, туманностей, зір і зоряних скупчень, *Сонця* та тіл *Сонячної системи* (великих, карликових і малих (астероїдів) планет, їхніх супутників, комет, *метеоритів*). До 19 ст. дослідж. К. стосувалися переважно походження Соняч. системи. У 20 ст. розвиток фізики та спостереженої астрофізики заклав основи вивчення віддаленіших об'єктів: зір, їхніх скупчень, галактик тощо. Після заг. ідей про розвиток небес. тіл, висловлених грец. філософами 4–1 ст. до н. е. (Демокрит, Лукрецій тощо), тривалий час панувала теол. картина. 1600 італ. філософ Дж. Бруно зробив припущення про можливість існування планет навколо ін. зірок, які постійно народжуються та вмирають. 1644 франц. філософ, математик, фізик Р. Декарт висунув гіпотезу еволюц. походження небес. тіл шляхом утворення локал. вихорів у початково холод. газовому середовищі. Пізніше її вдосконалювали основоположник нім. класич. філософії І. Кант (1755) і франц. астроном, математик, фізик П.-С. Лаплас (1795).

У 1796 П.-С. Лаплас розвинув нову гіпотезу й описав утворення Сонця та Соняч. системи з розжареної газової туманності, що повільно обертається: під дією гравітації її центр. частина стискувалася, внаслідок чого швидкість обертання зростала, а форма сплющувалась; під дією зростаючої при стискуванні відцентр. сили від протосонця відокремлювалися і охолоджувалися окремі згустки, які стали матеріалом для утворення планет, супутників комет тощо. Оскільки І. Кант і П.-С. Лаплас розглядали можливість утворення планет з розсіяної речовини, часто говорять про єдину гіпотезу Канта–Лапласа. Наприкінці 19 ст. з'явилася гіпотеза амер. вчених Ф. Мультона і Т. Чемберлена про утворення планет із дріб. твердих частинок — планетезималі. Вони помилково вважали, що планетезималі, які обертаються навколо Сонця, могли виникнути при охолодженні викинутої Сонцем речовини (таке утворення суперечить закону збереження моменту кількості руху). 1745 франц. природодослідник Ж.-Л.-Л. Бюффон запропонував катастрофічну гіпотезу, згідно з якою тіла Соняч. системи утворилися з уламків, що виникли при зіткненні Сонця з масив. кометою. Її на поч. 20 ст. розробляв англ. астроном і фізик Дж.-Г. Джинс.

Дещо ін. підхід 1943 запропонував математик, астроном, геофізик, академік АН УРСР і СРСР *О. Шмідт*, удосконаливши гіпотезу Канта–Лапласа припущенням, що обертаючись навколо центра галактики Сонце захопило хмару з холод. тіл і частинок пилу, з якої сформувалися холодні щільні допланетні тіла — планетезималі. Згодом рад. науковці з'ясували осн. риси еволюції протопланет. хмари та процесу формування планет, а сам процес умовно розділили на 2 етапи. На 1-му етапі з пилової складової хмари утворилося безліч проміж. тіл розміром у сотні кілометрів (у газопил. хмарі пилинки під дією гравітації опускалися до центру й утворювали пиловий субдиск, який при досягненні критич. густини розпадався на безліч пилових згущень внаслідок гравітац. нестійкості; зіткнення окремих згущень викликало об'єднання та подальше стискування більшості з них, зумовлюючи утворення компакт. тіл). На 2-му етапі з рою проміж. тіл та їхніх уламків зароджувалися планети (тіла рухалися коловими орбітами у площині початк. пилового шару, зливались одне з одним і вичерпували залишки первин. пилу й уламки; тіла, котрі росли найшвидше, ставали зародками майбут. планет). У 1960-х рр. з'явилися перші результати наближеного чисел. моделювання процесів спіл. утворення Сонця та протопланет. хмари, де розглядалося відділення речовини від протосонця на стадії стискування, через настання в ньому ротац. нестійкості при вирівнюванні на екваторі відцентр. сили та сили тяжіння. Для пояснення розподілу моменту кількості руху між Сонцем і планетами англ. фізик Ф. Гойл використав ідею швед. астрофізика Г. Альвена про можливість магніт. зчеплення Сонця, що оберталося, та іонізов. речовини протопланет. хмари, завдяки чому Сонце може дистанційно передавати момент прилеглим частинам хмари.

К. зоряних скупчень, зірок і планетних систем. Астрофіз. дані свідчать, що зірки утворюються в газопил. комплексах масою $\geq 10^5$ мас Сонця. Розпочавши стискуватися, ця велика хмара бере участь у заг. обертанні галактики, тому не може стиснутися до знач. густини через великий момент обертання та прагне до розпаду на окремі фрагменти. Такий процес послідов. ступінчастої фрагментації супроводжується турбуленцією, удар. хвилями, перехрещенням магніт. полів, приплив. взаємодією фрагментів тощо та є складним і до кінця не зрозумілим. Проте еволюцію окремого фрагменту з масою в 1 масу Сонця та початк. моментом обертання $K' \approx 10^{53}$ г×см^2/сек. можна простежити шляхом розрахунків, які показують, що замість протозірки може виникнути нестійке кільце, яке починає розбиватися на окремі фрагменти, формуючи кратні зірки.

При значно меншому K' імовірнішим є утворення одиноч. зірки та малих фрагментів навколо неї. Статист. розгляд процесу росту зародків планет при певних припущеннях щодо розподілу моменту кількості руху в диску приводить до спостереж. закону планет. від-

станей. Акрец. диски формуються і побл. подвій. зоряних систем, коли одна із зірок своїм тяжінням відтягує газ у сусідньої (зазвичай у великої та не такої щільної зірки). 1991 амер. астрофізики С. Балбюс і Дж. Голей припустили, що коли речовина в акрец. диску має високу електропровідність і пронизана слабким магніт. полем, то в диску з'являється магніто-ротац. нестійкість, яка відіграє осн. роль у динаміці акрец. дисків. Розв'язанням рівняння гідродинаміки були побудовані моделі газопил. диска, що обертається навколо Сонця, згідно яким температура в центр. площині диска падає з відстанню від Сонця за залежністю r^{-1}-$r^{-1/2}$, складаючи 300–400 K на відстані r = 1 а. о. і десятки K на r ~ 10–20 а. о. Структуру внутр. зон диска відображає модель, покладена в основу досліджень О. Шмідта і його співробітників. Хім. і фіз. розрахунки показують, що при зниженні температури в довіл. частині туманності хоча б до 1600 K, там починають з'являтися перші метал. елементи типу алюмінію і титану, які можуть утворювати оксиди металів у формі мікроскоп. пилинок. Із подальшим зниженням температури зовн. ділянок протопланет. туманності до 1400 K з'являється ще один важливий елемент — залізо.

Після цього починають утворюватися мікроскоп. частинки залізонікел. сплаву у вигляді окремих пилинок. При т-рі 1300 K з'являються тверді частинки силікатів, а при т-рі бл. 1200 K утворюються мінерали магнію (напр., силікат магнію, енстатіт ($MgSiO_3$) тощо). Оскільки місц. умови визначаються відстанню від нещодавно сформов. Сонця, в певних зонах при т-рі £ 300 K починають утворюватися молекули води. Поза Гол. поясом астероїдів, при т-рі ~ 100–200 K, у найвіддаленішій частині протосоняч. туманності утворилися аміак, метан та їхній лід. У зовн. частині Соняч. системи ці льоди збереглися донині у кометах і в крижаних супутниках планет-гігантів.

К. планет і їхніх супутників. При моделюванні окремих стадій еволюції протопланет. хмари й утворення планет велику увагу приділяють початк. стадії — опусканню пилинок у центр. площині диска та їхньому злипанню в умовах допланет. хмари, тривалість якої знач. мірою залежить від швидкості росту пилинок. Подальший розпад пилового диска, утворення пилових згущень та перетворення на рій компакт. тіл астероїд. розмірів з космогоніч. точки зору був досить швидким (< 10^6 р.), але акумуляція планет з рою проміж. тіл і їхніх уламків триває значно довше. Комп'ютерне моделювання продемонструвало залежність кінцевого числа планет від маси речовини в допланет. хмарі. Амер. науковець С. Доул виявив, що при масі хмари > 0,15 M тіла зливаються в єдиний зіркоподіб. супутник Сонця, що є ще одним підтвердженням правильності моделі маломасив. допланет. хмари. Остан. роками виконані трудомісткі розрахунки динаміки рою тіл у зоні утворення планет земної групи, котрі підтвердили як характер розподілу швидкості на заключ. етапі росту планет, так і час акумуляції Землі (~ 10^8 р.), які раніше оцінювалися лише аналіт. методами. Процес утворення планет земної групи простежений досить детально, а розрахована відстань між планетами, їхня маса, період обертання навколо Сонця, нахил осі задовільно погоджуються зі спостереж. даними. Є дві гіпотези щодо утворення Юпітера та Сатурна, які містять багато водню й гелію (за своїм складом вони ближчі до Сонця, ніж ін. планети). Перша гіпотеза — контракції — пояснює соняч. склад планет-гігантів тим, що в протопланет. диску великої маси утворилися масивні газопил. згущення — протопланети, котрі пізніше у процесі гравітац. стискування перетворилися в планети-гіганти. Проте ця гіпотеза не пояснює видалення із Соняч. системи знач. надлишку речовини, яка не увійшла до планет, а також причини відмінності складу Юпітера та Сатурна від складу Сонця (у Сатурні міститься більше важких хім. елементів, ніж у Юпітері, де, у свою чергу, їх міститься дещо більше, ніж у Сонці). Згідно з другою гіпотезою — акреції — утворення Юпітера та Сатурна проходило в 2 етапи. На 1-му етапі тривалістю бл. 3×10^7 р. у зоні Юпітера та 2×10^8 р. у зоні Сатурна відбувалася акумуляція твердих тіл у такий самий спосіб, як і в зоні планет земної групи, а коли маса найбільших тіл досягла критич. значення (бл. двох мас Землі), почався 2-й етап — акреція газу на ці, вже досить масивні тіла, який тривав не менше 10^5–10^6 р. На 1-му етапі з зони Юпітера дисипувала частина газу та його склад почав відрізнятися від соняч., це ще більше проявилося в зоні формування Сатурна. На стадії акреції найвища температура зовн. шарів Юпітера сягала 5000 K, а Сатурна — бл. 2000 K.

Значно сильніше прогрівання Юпітером своїх околиць визначило силікат. склад його близьких супутників. Проте, згідно гіпотези контракції температура планет-гігантів на ранній стадії також була високою, але динаміка процесів у рамках гіпотези акреції виявилася більш обґрунтованою. Утворення Урана та Нептуна, де міститься менше водню та гелію, також краще пояснюється 2-ю гіпотезою, тому що більша частина газу вже залишила межі Соняч. системи за час досягнення критич. маси (~ 10^8 р.). Походження систем т. зв. регуляр. супутників планет, що рухаються в напрямку обертання планет майже коловими орбітами у площині їхнього екватора, автори космогоніч. гіпотез зазвичай пояснюють повторенням у малому масштабі процесу, запропонованого для пояснення утворення планет Соняч. системи. Системи регуляр. супутників є в Юпітера, Сатурна й Урана, де також є кільця з дріб. твердих частинок. У Нептуна немає регуляр. системи великих супутників, але є кільця. Сучасна планетна космогонія пояснює утворення регуляр. супутників еволюцією протосупутник. дископодіб. рою частинок, що виникли в результаті непруж. зіткнень планетезималей, що рухалися навколосоняч. орбітами побл. планети. Система регуляр. супутників Юпітера також

поділяється на 2 підгрупи: силікатну та водно-силікатну. Розходження в хім. складі супутників показує, що молодий Юпітер був гарячішим і нагрівання могло бути зумовлене виділенням гравітац. енергії при акреції газу. У системі переважно льодяних супутників Сатурна розподілу на групи практично немає. Це пояснюють нижчою т-рою Сатурна, при якій змогла конденсуватися вода. Походження іррегуляр. супутників Юпітера, Сатурна та Нептуна, тобто супутників, що рухаються у зворот. напрямку, та невеликого зовн. супутника Нептуна, який хоч і рухається прямо, але по дуже витягнутій орбіті, — пояснюють гравітац. захопленням.

К. астероїдів, комет і пилової складової. Астероїди та комети є залишками рою проміж. тіл. Астероїди — кам'янисті тіла внутр. навколосоняч. зони, а комети — кам'янисто-крижані тіла зони планет-гігантів. Маси планет-гігантів ще до завершення їхнього росту стали такими великими, що своїм притяганням вони дуже сильно змінювали орбіти малих тіл, які пролітали повз них. Орбіти сильно витягувалися, інколи так сильно, що простягалися за межі планет. системи. Тіла, які віддалялися далі ніж на 20–30 тис. а. о. від Сонця, зазнавали відчут. гравітац. дії ближ. зірок і через це малі тіла могли не повертатися в зону планет. орбіт. У результаті система планет виявилася оточеною роєм кам'янисто-крижаних тіл, який простягається до 10^5 а. о. (~ 1 пк) і є джерелом спостережуваних нині комет. Існування комет. хмари запропонував нідерланд. астроном Я. Оорт. Вплив найближчих зірок іноді може так сильно збурити орбіту кам'янисто-крижаного тіла, що воно або покине Сонячну систему, або наблизиться до Сонця. З наближенням до центр. світила під дією його променів крижані тіла починають випаровуватися і виникає явище комети. Астероїди збереглися до нашого часу завдяки тому, що переважна їхня більшість рухається в широкому проміжку між орбітами Марса та Юпітера.

Подібні кам'янисті тіла, що колись існували у всій зоні планет земної групи, давно приєдналися до цих планет, або зруйнувалися при взаєм. зіткненнях, або ж були викинуті за межі цієї зони завдяки гравітац. дії планет. Найбільші із сучас. астероїдів — у діаметрі 100 км і більше — утворилися ще в епоху формування планет. системи; середні та дрібні — здебільшого уламки великих астероїдів, що розбилися при зіткненнях. Саме через зіткнення астероїд. тіл безперервно поповнюється запас пилової речовини в міжпланет. просторі. Ін. джерело дріб. твердих частинок — розпад комет при прольоті побл. Сонця. Надра первин. великих астероїдів, очевидно, розігрівалися майже до 1000 К, що позначилося на складі та структурі їхньої речовини. Про це стало відомо завдяки падінню на поверхню Землі невеликих уламків астероїдів — метеоритів. Деякі метеорити є найкращими з наяв. зразків первин. планет. речовини. Порівняно із земними гірськими породами вони зазнали значно менших змін у подальших фіз.-хім. процесах. Вік метеоритів, визначений за вмістом радіоактив. елементів і продуктів їхнього розпаду, є також і віком всієї Соняч. системи (бл. 4,6 млрд р.). Отже, тривалість процесу формування планет є незначною порівняно з часом їхнього існування.

Розробляти

К. галактик почали порівняно не давно. Нині вчені проводять класифікацію галактик і їхніх скупчень, вивчають еволюц. зміни зірок і газової складової галактик, їхнього хім. складу та ін. параметрів, природу початк. збурення, розвиток якого призвів до розпаду газу Метагалактики, що розширюється, на окремі згущування, розраховують залежність морфол. типу та ін. властивостей галактик від маси і обертання цих первин. згущувань. Значну увагу приділяють компакт. щільним ядрам, які існують в деяких галактиках, детально вивчають природу потуж. радіовипромінювання від деяких галактик і його зв'язок з вибух. процесами в ядрах. Потужні вибухи, що відбуваються в квазарах і ядрах актив. галактик (сейфертовських тощо), повинні бути істот. етапом еволюції галактик.

Рекомендована література

1. Шмидт О. Ю. Четыре лекции о теории происхождения Земли. Москва, 1949;
2. A. G. W. Cameron. Formation of the solar nebula // Icarus. 1963. Vol. 1, № 1–6;
3. Левин Б. Ю. Происхождение Земли и планет. 4 изд. Москва, 1964;
4. Сафронов В. С. Эволюция допланетного облака и образование Земли и планет. Москва, 1969;
5. A. G. W. Cameron, J. W. Truran. The Chemical Evolution of the Galaxy // J. Royal Astron. Soc. of Canada. 1971. Vol. 65, № 1;
6. F. Hoyle. Origin of the Solar Nebula // Highlights of Astronomy. 1971. Vol. 2;
7. Доул С. Планеты для людей. Москва, 1974;
8. Левин Б. Ю., Маева С. В. Загадки происхождения и термической истории Луны // Космохимия Луны и планет. Москва, 1975;
9. Шкловский И. С. Вселенная, жизнь, разум. Москва, 1976;
10. Альвен Х., Аррениус Г. Эволюция Солнечной системы / Пер. с англ. Москва, 1979;
11. D. D. Clayton. Principles of Stellar Evolution and Nucleosynthesis // Principles of stellar evolution and nucleosynthesis. Chicago; London. 1984;
12. S. A. Balbus, J. F. Hawley. A powerful local shear instability in weakly magnetized disks. I – Linear analysis. II – Nonlinear evolution // Astrophys. J. 1991. Vol. 376, № 1, pt. 1.

А. П. Відьмаченко

Бібліографічний опис:
Космогонія / А. П. Відьмаченко // Енциклопедія Сучасної України [Електронний ресурс] / Редкол.: І. М. Дзюба, А. І. Жуковський, М. Г. Железняк [та ін.] ; НАН України, НТШ. — К. : Інститут енциклопедичних досліджень НАН України, 2014. — Режим доступу: https://esu.com.ua/article-3857

2001-2025 © Ця енциклопедична стаття захищена авторським правом згідно з чинним законодавством України (докладніше).