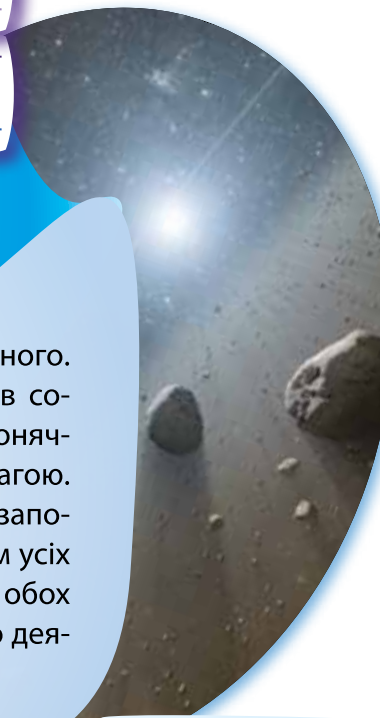


# МАЛЕЧА СОНЯЧНОЇ СИСТЕМИ: КОСМІЧНИЙ ПИЛ ТА МЕТЕОРОЇДИ

Все велике та величне починається з малого і непримітного. Неодноразово журнал „КОЛОСОК” описував великих членів сонячної родини – планет та їхніх супутників<sup>1</sup>. А ось „малеча” Сонячної системи досі несправедливо залишилася поза нашою увагою. Між тим, простір між планетами та зорями не порожній. Він заповнений потоками елементарних частинок, випромінюванням усіх діапазонів, силовими полями, атомами, молекулами, іонами обох знаків, пилом та метеороїдами. Сьогодні ми поговоримо про деяких найменших представників Сонячної системи.



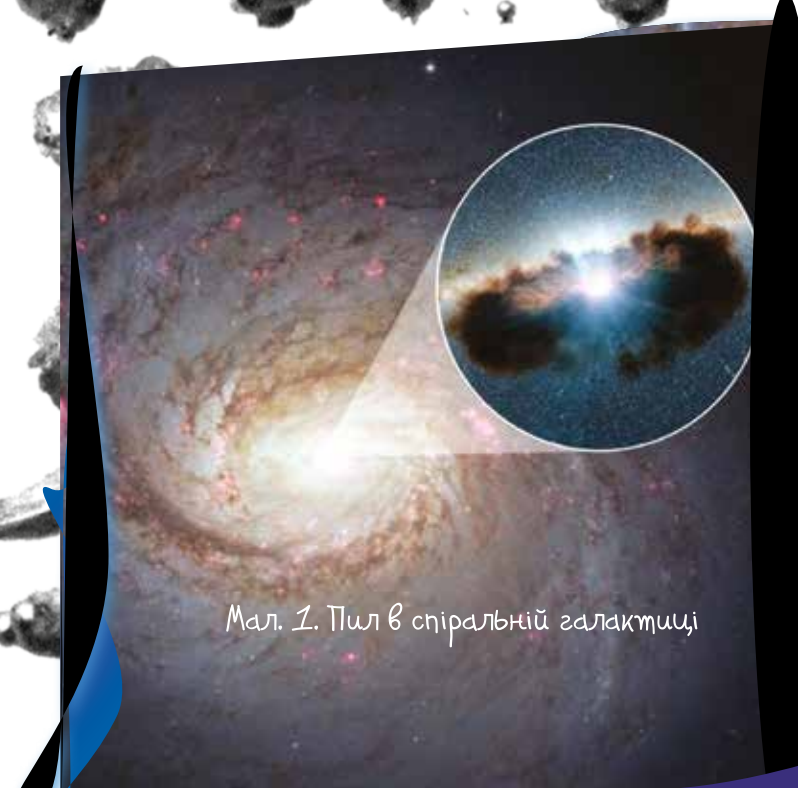
## Міжпланетний пил

Міжпланетний пил такий самий всепроникний і всюдисущий, як і домашній. Але його, на відміну від домашнього, ніхто не прибирає в космічному просторі:-). Звідки ж береться цей пил? Яка його природа?

Джерел утворення космічного пилу декілька. Одне з них – **залишки речовини, з якої утворилися зорі та планети**. У міжзоряному просторі ця речовина спочатку перебуває в газоподібному стані і, поступово конденсуючись, утворює стійкі групи атомів або молекул. До них приєднуються інші атоми або молекули, вступаючи в хімічну реакцію. Цей процес називають **хемосорбцією**. З часом концентрація таких частинок збільшується, вони злипаються, утворюючи кластери. Такі угруповування ростуть, ущільнюються, утворюючи тверде ядро з Карбону, Кремнію, силікатних гранул. В умовах міжзоряного простору атоми газоподібних елементів, які оточують ядро, швидко кристалізуються, „намерзають” на ядро, утворюючи оболонку. В деяких випадках процеси кристалізації поширюються і на ядро, в основному на ті ядра, які складаються з Карбону.

Іншим джерелом утворення пилу є **зоряний вітер та залишки зір** (планетарні туманності та оболонки, які скидає зоря). В процесі еволюції під впливом тиску випромінювання зорі розсіюють речовину у космічний простір. Це явище називають зоряним вітром. З часом іони зоряного вітру, віддаляючись від поверхні зорі, втрачають свою швидкість та кінетичну енергію, рекомбінують, утворюючи нейтральні атоми й молекули, які збираються в газові оболонки навколо зорі. В цих оболонках починаються процеси утворення пилинок, про які йшлося вище. Масивні зорі наприкінці свого „життєвого шляху” вибухають, викидаючи величезну кількість речовини, яка розсіюється у міжзоряному просторі, охолоджується і теж „включає” механізми хемосорбції.

Ще одним механізмом утворення міжпланетного пилу є зіткнення небесних тіл (метеороїдів, астероїдів), що обертаються навколо зорі, а також викиди речовини з поверхні комет. Тому хімічний склад міжпланетного пилу майже не відрізняється від складу метеоритів, які іноді падають на Землю.



Мал. 1. Пил в спіральній галактиці

Типовий розмір частинок міжзоряного пилу – від 0,01 до 0,2 мкм (1 мкм – тисячна частка міліметра). Маса пилу в газових хмарах становить приблизно 1 % від загальної маси газу.

У 2010 році журнал „Meteoritics & Planetary Science” опублікував статтю „Метеорити та метеороїди: нові визначення”. Її автори пропонують таке визначення космічного пилу: „Космічний пил – це частинки розміром менше 10 мкм, що рухаються в міжпланетному просторі. Навіть якщо такі частинки згодом злипнуться з великими тілами природного або штучного походження, вони називатимуться „космічним пилом”.

Незважаючи на те, що частинки космічного пилу мізерні за розміром, збираючись у пилові хмари, вони можуть повністю поглинати світло далеких зір. Для прикладу: товщина газопилового шару нашої галактики Чумацький Шлях сотні світлових років, причому більша частина речовини пилових хмар галактики зосереджена в її спіральних рукавах. Аналогічну картину спостерігаємо в інших спіральних галактиках (мал. 1). Космічний пил найкраще поглинає сині промені, а найменше – червоні, тому світло зір, яке проходить через заповнену космічним пилом ділянку міжзоряного середовища, червоніє, як сонечко на сході або заході.



Мал. 1. Пил в спіральній галактиці

Учені підрахували, що за рік на земну поверхню випадає понад 3 мільйони тонн космічного пилу. Отже, за останні дві тисячі років (від початку нашої ери) маса нашої планети збільшилася на шість мільярдів тонн за рахунок космічної речовини, що випала у вигляді космічного пилу. Щоправда, це становить лише 0,000 000 000 000 001 (одну квадрильйонну) частину маси Землі. Але навіть така мізерна маса космічного пилу може впливати на добовий та річний періоди обертання Землі. Пил потрапляє і в наші домівки: приблизно 20 % пилу, який осідає за два тижні в квартирі, не що інше, як космічний пил!

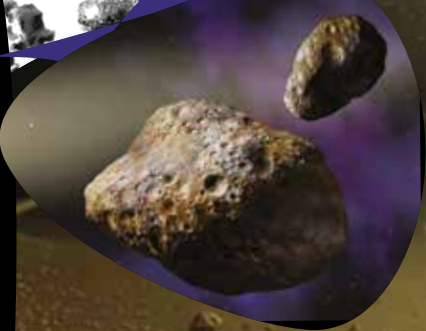
У Сонячній системі пилова речовина розподілена нерівномірно. Здебільшого вона зосереджена в пилових хмарах різних розмірів та конфігурацій.

Історично перші методи дослідження частинок міжпланетного пилу були проведені за допомогою космічних апаратів, на яких встановлені мікрофонні детектори космічного пилу. Детектори реєстрували удари частинок космічного пилу по спеціально виготовлених для цього пластинах або панелях сонячних батарей. За наслідками таких зіткнень можна визначити інтенсивність потоку частинок вздовж траєкторії руху супутника.

Потрапляючи на детектори наступного покоління – пенетраціонні – частинки космічного пилу пробивають фольгу, що закриває комірку з газом. Газ витікає у міжпланетний простір, і його тиск у комірці зменшується. За швидкістю зміни тиску газу можна розрахувати площу отвору, кінетичну енергію частинки та її розміри.



Мал. 2. Детектор космічного пилу

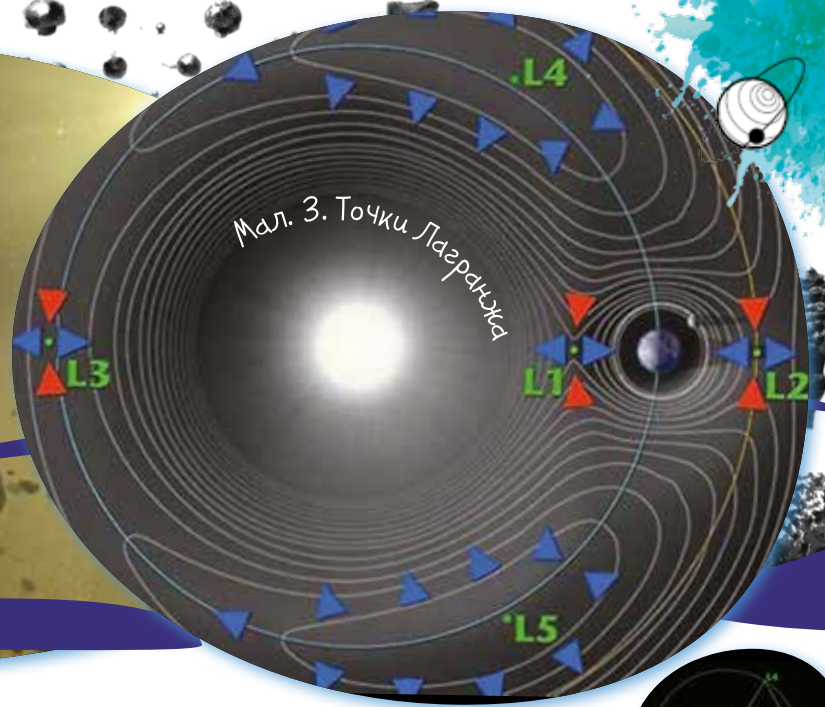
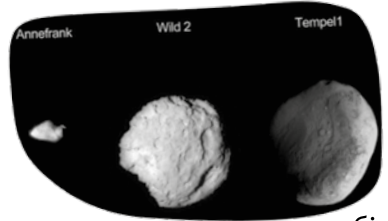


В середині 90-х років минулого століття учені розробили і успішно застосували новий метод дослідження частинок міжпланетного пилу: їх збирають у спеціальні капсули (колектори), вкриті силіконовим мастилом. Такі колектори встановлювали на висотних літаках, аеростатах і супутниках (мал. 2).

Інший метод захоплення космічного пилу використали на американській AMC Stardust (запущена 7 лютого 1999 р.). У 2004 році станція пролетіла поблизу комети Вільда<sup>2</sup> (мал. 2) і з допомогою пастки-аерогелю (інертна мікропориста субстанція на кремнієвій основі з густиною 0,02 г/см<sup>3</sup>) взяла проби пилу. Комети містять багато летких речовин і формуються в умовах низьких температур на околицях Сонячної системи. Вивчати їх надзвичайно важливо

для розуміння ранньої історії планет.

Міжпланетний пил, захоплений гравітаційним полем Землі, накопичується поблизу так званих точок Лагранжа – ділянок стійкої рівноваги, де вплив інших космічних тіл здебільшого не призводить в більшості випадків до виходу частинок за межі цих ділянок. Пиліві хмари, які тут утворюються (мал. 3), називають хмарами Кордильєвського<sup>3</sup>. Маса космічного пилу, зосередженого у хмарах Кордильєвського, приблизно 20 000 тонн, поперечний розмір хмар оцінюється в 30 000 км.



Мал. 3. Точки Лагранжа

З космічним пилом пов'язане цікаве оптичне явище – **зодіакальне саяво**. Це явище іноді можна спостерігати в умовах чистої атмосфери та за відсутності сторонніх джерел світла як невелике збільшення яскравості неба уздовж екліптики – **зодіакальну смугу**. Зодіакальне саяво зазвичай має форму дифузного світлого трикутника (мал. 4), витягнутого уздовж площини екліптики (звідки й походить його назва). Вершина цього трикутника напрямлена в сторону від Сонця. Яскравість зодіакального світла зменшується зі збільшенням кутової відстані до Сонця (цей кут називають елонгацією). За елонгації близької до 180° в ділянці неба, протилежній до напрямку на Сонце, яскравість зодіакального саява зростає. Спостерігач бачить на небі невелику слабку дифузну пляму діаметром майже 10°, – так зване **протисаяво**.

Зодіакальне саяво найкраще спостерігати в екваторіальних широтах Землі поблизу дат рівнодень, тобто, увечері в березні-квітні або вранці у вересні-жовтні, коли екліптика перетинає горизонт під максимальним кутом.

Зодіакальне саяво та протисаяво виникають внаслідок розсіювання сонячного світла на скупченнях частинок міжпланетного пилу, що концентрується в площині екліптики. Таке пояснення природи зодіакального саява запропонував у 1683 році видатний італійський вчений Кассіні, який вперше зробив науковий опис цього оптичного явища.

<sup>2</sup>81P/Wild – короткоперіодична комета, відкрита швейцарським астрономом П. Вільдом (Paul Wild) у 1978 році.

<sup>3</sup>Казимеж Кордильєвський (Kazimierz Kordylewski, 1903 – 1981) – польський астроном.



Мал. 4. Зодіакальне сяйво

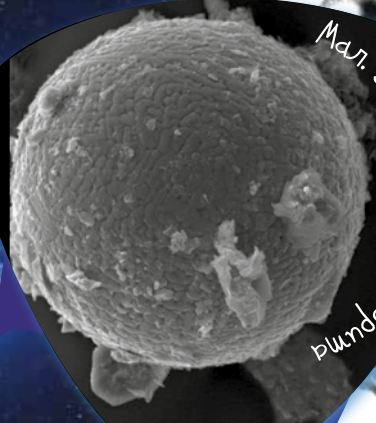
На сьогодні ще остаточно не з'ясоване джерело космічного пилу, яке „відповідає“ за утворення зодіакального сяйва. Адже невеликі частинки пилу мають або вимітатися з Сонячної системи під тиском сонячного світла, або внаслідок ефекту Робертсона-Пойнтинга гальмуватися і падати на Сонце. Загальновизнаною теорією, яка пояснює механізм поповнення частинок зодіакального сяйва, називають процеси руйнування астероїдів, комет і поступове дроблення їхніх залишків.

## Метеороїди

В ієрархії розмірів твердих частинок Сонячної системи більшими за міжпланетний пил є метеороїди, найдрібніші представники яких називають мікрометеороїдами.

У широкому сенсі метеороїд або метеорне тіло – це небесне тіло, проміжне за розміром між міжпланетним пилом і астероїдом. Згідно з офіційним визначенням Міжнародної метеорної організації, метеороїд – це твердий об'єкт, що рухається в міжпланетному просторі. Розміром він значно менший, ніж астероїд, але значно більший, ніж атом.

Британське королівське астрономічне товариство (*The Royal Society of London for the Improvement of Natural Knowledge*) пропонує інше формулювання, згідно з яким метеороїд – це тіло діаметром від 100 мкм до 10 м. Деякі вчені обмежують це значення величиною у 30 м.



Мал. 5. Фото мікрометеорита

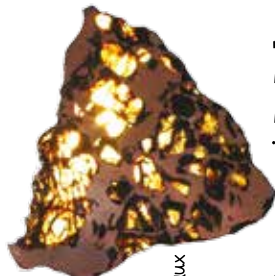


Автори згаданої вище статті „Метеорити та метеороїди: нові визначення“ в журналі *Meteoritics & Planetary Science* пропонують своє визначення:

- **Метеороїд:** природний твердий об'єкт розміром від 10 мкм до 1 метра, що рухається в міжпланетному просторі. Метеороїди можуть бути як первинними об'єктами, так і похідними фрагментами небесних тіл більшого розміру (не тільки астероїдів), викликані їхнім руйнуванням.
- **Мікрометеороїд** – метеороїд розміром від 10 мкм до 2 мм.

Метеороїд, що влетів з величезною швидкістю (11–72 км/с) в атмосферу Землі, сильно нагрівається внаслідок тертя і згоряє, перетворюючись в **метеор**. Яскраві метеори називають **болідами**. Якщо ж метеороїд „вижив“ під час падіння в атмосфері і впав на поверхню Землі, то це вже **метеорит**. Мікрометеоритами називають шматочки метеоритів, розміри яких становлять від 8,6 до 50 мікрометрів. Найстаріші з досліджених мікрометеоритів мають вік майже у 3,9 мільярда років. Зазвичай мікрометеорити мають специфічну форму у вигляді так званих сферул, які утворюються в процесі оплавлення при проходженні метеороїда в атмосфері Землі (Мал. 5). Оплавлення частинок метеороїда відбувається на висотах від 75 до 90 км.

Дослідження метеороїдів розпочалися у 1954 році з борту геофізичних ракет і штучних супутників Землі. Перший експеримент з вивчення метеорної речовини проведено 28 листопада 1970 року на ракеті „Вертикаль“.



Метеорит Фукаґі (Fukang) – один із найкрасивіших знайдених метеоритів

