



# Великі уявлення з астрономії

Запропоновано визначення астрономічної грамотності

**Автор світлин, вміщеної на обкладинці: Бабак Тафреші ([www.twanight.org/tafreshi](http://www.twanight.org/tafreshi)).  
Давні петрогліфи на скелях гір Загрос (долина Теймарех) в центральному Ірані на тлі треків зір.**

Вміщений нижче текст переклав з оригінального видання (<https://astro4edu.org/bigideas/>) Іван Крячко ([astroosvita@gmail.com](mailto:astroosvita@gmail.com)).

Ілюстрації — копії зображень з оригіналу.

# Big Ideas in Astronomy Великі уявлення з астрономії

Запропоновано визначення астрономічної грамотності

## Автори:

Жуан Ретре [João Retrê] (Institute of Astrophysics and Space Sciences, Portugal — Інститут астрофізики та космічних наук, Португалія), Педро Руссо [Pedro Russo] (Leiden University, the Netherlands — Лейденський університет, Нідерланди), Хюнджу Лі [Hyunju Lee] (Smithsonian Science Education Center, USA — Смітсонівський науково-освітній центр, США), Едуардо Пентеадо [Eduardo Penteadó] (Museu de Astronomia e Ciências Afins, Brazil — Музей астрономії та космічних наук, Бразилія), Саїд Салімпур [Saeed Salimpour] (Університет Дікіна, Австралія — Deakin University, Australia), Майкл Фіцджеральд [Michael Fitzgerald] (Університет Едіт Кован, Австралія — Edith Cowan University, Australia), Джая Рамчандані [Jaya Ramchandani] (Історія заснування — The Story Of Foundation), Маркус Пессел [Markus Pössel] (Будинок астрономії, Німеччина — Haus der Astronomie, Germany), Сесілія Скорца [Cecilia Scorza] (Мюнхенський університет Людвіга Максиміліана та Будинок астрономії, Німеччина — Ludwig Maximilians University of Munich & Haus der Astronomie, Germany), Ларс Ліндберг Крістенсен [Lars Lindberg Christensen] (Європейська південна обсерваторія — European Southern Observatory), Ерік Арендс [Erik Arends] (Лейденський університет, Нідерланди — Leiden University, the Netherlands), Стивен Помпеа [Stephen Pompea] (NOAO, США — NOAO, USA) та Ваутер Шрієр [Wouter Schrier] (Лейденський університет, Нідерланди — Leiden University, the Netherlands)

1-ше видання, травень 2019 р.

ISBN/EAN: 978-94-91760-21-1

Ліцензія: Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

## Подяки:

Ісмаелю Терено [Ismael Tereno], Педро Фірейрі [Pedro Figueira] та Сержіо Перейрі [Sérgio Pereira] за їхні коментарі до цієї версії цілей.

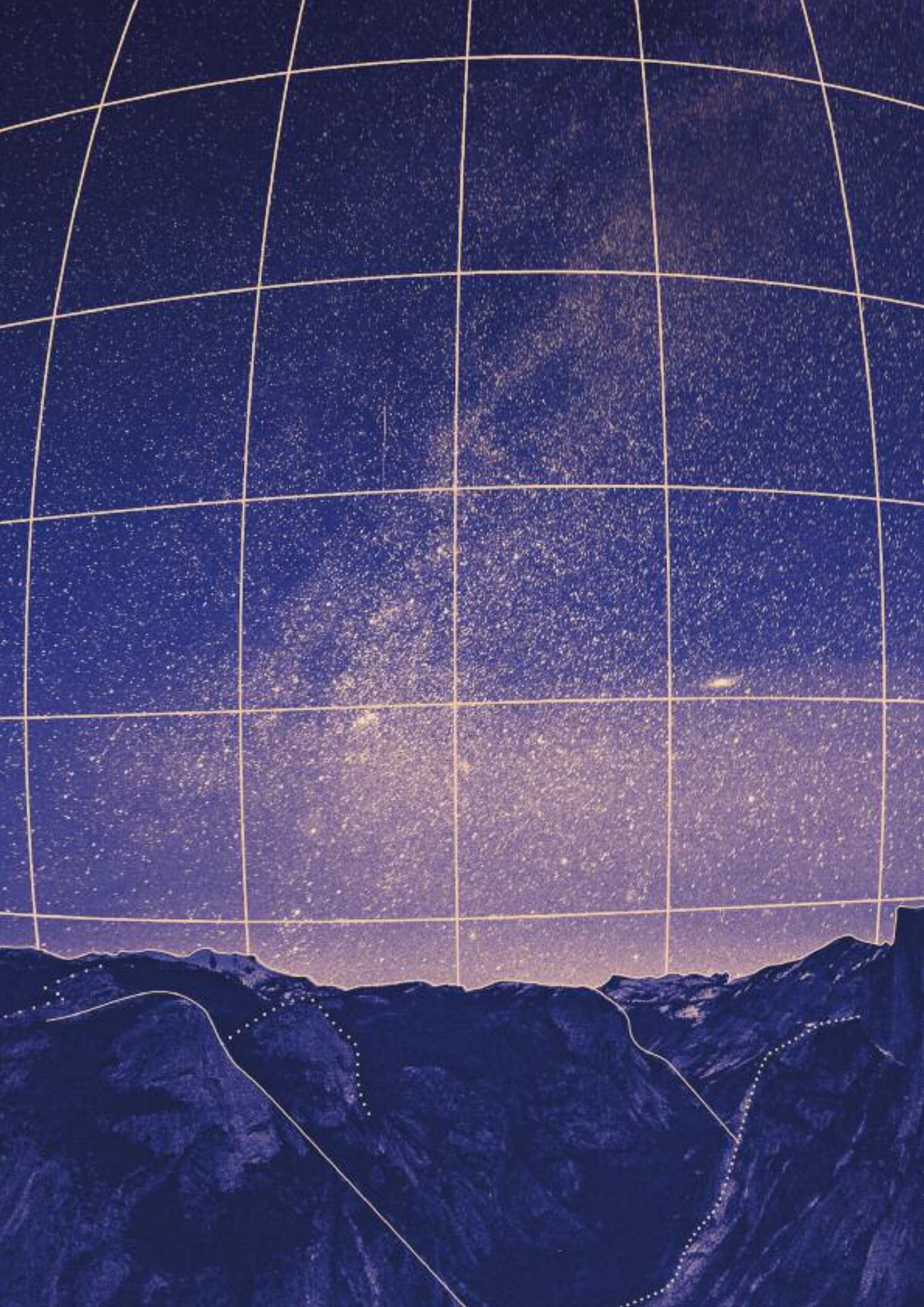
Жуан Ретре [João Retrê] висловлює подяку за фінансову підтримку Португальському фонду науки і технологій [Portuguese Science and Technology Foundation] через дослідницькі гранти IA2017-09-BGCT та UID/FIS/04434/2013. Педро Руссо [Pedro Russo] висловлює подяку за підтримку проекту NAOJ Sokendai «Astronomy Literacy» («Астрономічна грамотність»), який координувала професор, доктор Хідехіко Агата [Hidehiko Agata]. NOAO керує Асоціація університетів з досліджень в астрономії (Association of Universities for Research in Astronomy, AURA) за угодою про співпрацю з Національним науковим фондом (National Science Foundation).

**«Цілі астрономічної грамотності» (Astronomy Literacy Goals)** — це проєкт Лейденської обсерваторії, Лейденського університету (Нідерланди) та Інституту астрофізики і космічних наук (Португалія) в рамках Комісії C1 IAU: Робоча група з питань грамотності та розробки навчальних програм (Working Group on Literacy and Curriculum Development).

**Комісія IAU C1 з астрономічної освіти та розвитку (Astronomy Education and Development):** президент — Пауло Бретонес (Paulo Bretones).

**Робоча група IAU C1 з питань грамотності та розробки навчальних програм (Working Group Literacy and Curriculum Development):** голова — Роберт Голлов (Robert Hollow).





# Зміст

6	Великі уявлення
8	Вступ
10	Короткий вступ до деяких великих уявлень з астрономії, автор Педро Руссо
11	Огляд великих уявлень
17	Астрономія — одна з найдавніших наук в історії людства
21	Астрономічні явища можна спостерігати в нашому повсякденному житті
25	Нічне небо багате та динамічне
29	Астрономія — це наука, яка вивчає небесні об'єкти та явища у Всесвіті
33	Астрономія отримує користь від розвитку технологій та стимулює його
37	Космологія — це наука про дослідження Всесвіту в цілому
43	Ми всі живемо на маленькій планеті в Сонячній системі
47	Ми всі складаємося із зоряного пилу
51	У Всесвіті є сотні мільярдів галактик
57	Можливо, ми не самотні у Всесвіті
61	Ми повинні зберегти Землю, наш єдиний дім у Всесвіті

# Великі уявлення

1

*Астрономія — одна з найдавніших наук в історії людства*

*Astronomy is one of the oldest sciences in human history*

2

*Астрономічні явища можна спостерігати в нашому повсякденному житті*

*Astronomical phenomena can be experienced in our daily lives*

3

*Нічне небо багате і динамічне*

*The night sky is rich and dynamic*

4

*Астрономія — це наука, яка вивчає небесні об'єкти та явища у Всесвіті*

*Astronomy is a science that studies celestial objects and phenomena in the Universe*

5

*Астрономія отримує користь від розвитку технологій та стимулює його*

*Astronomy benefits from and stimulates technology development*

**6**

*Космологія — це наука про дослідження Всесвіту в цілому*

*Cosmology is the science of exploring the Universe as a whole*

**7**

*Ми всі живемо на маленькій планеті в Сонячній системі*

*We all live on a small planet within the Solar System*

**8**

*Ми всі складаємося із зоряного пилу*

*We are all made of stardust*

**9**

*У Всесвіті сотні мільярдів галактик*

*There are hundreds of billions of galaxies in the Universe*

**10**

*Можливо, ми не самотні у Всесвіті*

*We may not be alone in the Universe*

**11**

*Ми повинні зберегти Землю, наш єдиний дім у Всесвіті*

*We must preserve Earth, our only home in the Universe*

# Вступ

*Астрономія для всіх.*

Це девіз Бюро з питань популяризації астрономії (Office for Astronomy Outreach) Міжнародного астрономічного союзу (International Astronomical Union, IAU, Міжнародний астрономічний союз, МАС). Якщо «усі» — це дуже широкий термін для визначення суспільства та його спільнот, то «астрономія», як сукупність знань, також так само всеосяжна. Цей проєкт «Великі уявлення з астрономії» досліджує питання: «Що повинні знати про астрономію громадяни, котрі здобули наукову освіту?».

За результатами кількох обговорень, зустрічей, семінарів, презентацій, телекомунікацій та текстових взаємодій, в цьому документі ми пропонуємо набір «Великих уявлень з астрономії» — Дорожню карту для досягнення цілей астрономічної грамотності. Цей документ визначає «Великі уявлення» та допоміжні концепції, які всі громадяни нашої планети повинні знати про астрономію.

«Великі уявлення з астрономії» базуються на новаторському проєкті 2061 (Project 2061) Американської асоціації сприяння розвитку науки (American Association for the Advancement of Science, AAAS). Проєкт 2061 AAAS розпочався у 1986 році, коли комета Галлея пройшла повз Землю. AAAS була заінтригована тим, що впливає на зв'язок дітей зі світом природи — ті, хто тоді починав навчання в школі, побачать повернення комети. Які наукові та технологічні зміни вони також побачать у своєму житті? Як освіта може підготувати їх до розуміння довкілля; до критичного і незалежного мислення та до цікавого, відповідального й продуктивного життя в культурі, яку все більше формують наука і технології? Проєкт «Великі уявлення з астрономії» також розширює роботу, виконану в рамках інших наукових дисциплін та проєктів, а саме: «Кліматологічна грамотність» (Climate Science Literacy), «Принципи грамотності в науці про Землю» (Earth Science Literacy Principles), «Океанологічна грамотність» (Ocean Literacy) та «Великі уявлення з науки» (Big Ideas of Science).

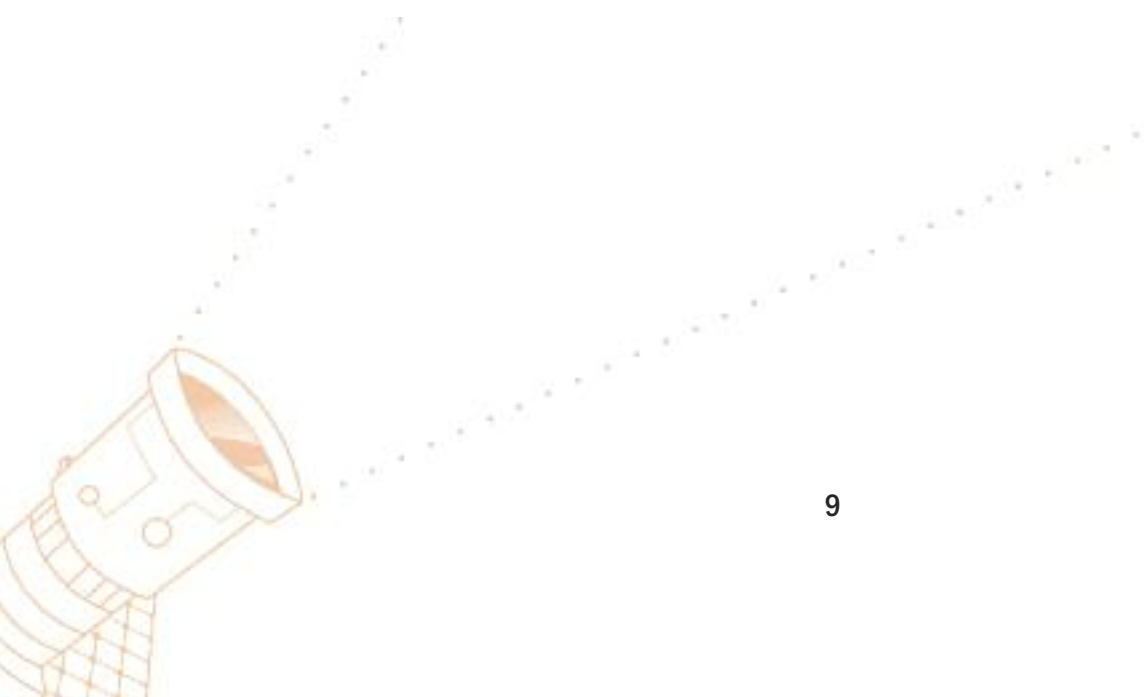
«Великі уявлення з астрономії» представляють одинадцять «Великих уявлень» та розширюють їх за допомогою підрозділів і додаткової інформації. Цей документ розроблений з урахуванням потреб викладачів та астрономів, він є керівним документом, щоб вирішити, які теми їм слід розглядати під час викладання, тренінгів, інформаційно-просвітницької діяльності або розробки навчальних та пізнавальних ресурсів. Однак, це має бути динамічний документ, і ми раді коментарям і зауваженням від астрономічної спільноти, спільноти астрономічної освіти та спільноти наукової освіти.

## Наступні кроки

Нашим наступним кроком є подальший розвиток змісту цього документа через виконання дослідницького проєкту для систематичної перевірки документа, як точного відображення того, що експерти вважають астрономічною грамотністю. Після цього ми працюватимемо над:

- *розробкою навчальної програми, узгодженої з цими Великими уявленнями;*
- *розробкою інструментів оцінювання для Великих уявлень;*
- *посібником навчальних матеріалів;*
- *матеріалами для професійного розвитку вчителів;*
- *звітами про виконання проєкту.*

Стратегічний план Міжнародного астрономічного союзу (МАС) на 2020–2030 роки ставить освіту в центр глобальних астрономічних зусиль. МАС поставив за мету сприяти використанню астрономії для навчання та освіти на шкільному рівні. Ми сподіваємося, що цей документ сприятиме досягненню цієї мети та стане першим аналізом і основою для цілей астрономічної грамотності в освіті.



## Короткий вступ до деяких головних уявлень з астрономії

### A brief Introduction to some of Astronomy's Big Ideas<sup>1</sup>

Астрономія — це наука, яка вивчає походження та еволюцію Всесвіту та всього, що в ньому є. Це визначення здається простим, але Всесвіт — це величезний простір, наповнений захопливими небесними об'єктами всіх розмірів, форм та віку, а також дивовижними явищами.

Як частина культурної та наукової історії людства, астрономія неодноразово змінювала спосіб нашого мислення, те, як ми бачимо довкілля, та наше місце у Всесвіті. У минулому астрономічні досягнення використовували для практичних застосувань, таких як вимірювання часу або навігація безмежними океанами. Нині результати науково-технічного розвитку астрономії та суміжних галузей стали важливими для багатьох аспектів нашого повсякденного життя: комп'ютери, супутники зв'язку, навігаційні системи, сонячні панелі, бездротовий інтернет та багато інших технологічних застосувань.

Як і будь-яка наука, астрономія досягає успіхів через накопичення знань. Іноді стабільний прогрес прискорюється раптовими проривами в технологіях та мисленні, такими як революційна ідея геліоцентричного погляду на Сонячну систему та модель Великого Вибуху. Модель Великого Вибуху показує історію еволюції Всесвіту. Близько 14 мільярдів років тому щойно народжений Всесвіт був нескінченно малим і гарячим. Раптове та постійне розширення, а потім охолодження привели до утворення фундаментальних будівельних блоків атомних та субатомних частинок, що уможливило появу галактик, зір, планет і зрештою життя. Астрономи вважають, з огляду на наявні дані, що розширення Всесвіту головню зумовлене таємничою формою енергії, яка називається темною енергією.

Якщо ми подивимося на небо темної ночі, ми побачимо світлу смугу, яка простягається небом від горизонту до горизонту. Ця смуга та всі зорі, які ми бачимо на небі, є частиною галактики, в якій ми живемо, Галактики Молочний Шлях. Галактики часто утворюються у вигляді ниток та скупчень: груп островів, що оточують безкрайні порожні «моря» Всесвіту. Наша галактика містить сотні мільярдів зір, з яких Сонце є лише однією, такою ж безіменною, як піщинка на пляжі. Ці зорі обертаються, дотримуючись природних законів гравітації, навколо центра Галактики, де міститься жадлива чорна діра. Цей «океан», яким є Всесвіт, містить багато інших островів; наш — лише один серед сотень мільярдів галактик, які його населяють.

Хоча Сонце належить до відносно пересічного типу зір, донедавна воно мало особливий статус для нас, людей: це була єдина зоря, що, як нам було відомо, оточена планетами. Сьогодні ми знаємо про тисячі зір з планетами, які називають екзопланетами. За оцінками, біля понад 20 % зір, які схожі на Сонце, обертаються планети — деякі з них схожі на Землю. Багато з цих планет малі та обертаються на комфортній відстані від своєї зорі, що зумовлює існування рідкої води і, отже, можливо, життя.

Але з чого складається Всесвіт? Речовина, яку ми можемо бачити — планети, зорі й галактики — складається з атомів, але є щось інше, щось величезне, дивне та таємниче, і ніхто не знає, що це таке. Зорі мали б обертатися навколо центра галактик, подібно до того, як планети обертаються навколо Сонця в Сонячній системі. Найближчі до Сонця планети рухаються швидше, ніж найвіддаленіші планети. Але цього не відбувається: зорі в галактиках обертаються з більш-менш однаковою швидкістю навколо центра галактики. Має бути щось, чого ми не можемо бачити і що змушує зорі обертатися таким чином. Астрономи називають це «темною матерією». Вони вважають: те, що ми можемо бачити, — це лише невелика частина всього, що існує у Всесвіті. Все інше недостатньо вивчене і його ще прямо не спостерігали!

Астрономія — це не лише наукові досягнення чи технологічні застосування: вона дає нам можливість розширити наш обмежений кругозір, відкрити красу і велич Всесвіту та наше місце в ньому. Цей погляд, який зазвичай називають «космічною перспективою», є одним із найважливіших внесків астрономії в загально-світову культуру.

<sup>1</sup>Спочатку опубліковано португальською мовою в новинному журналі *Visão*, 3 січня 2012 р.  
Автор: Педро Руссо (Pedro Russo)

# Огляд великих уявлень

## 1

### ***Астрономія — одна з найдавніших наук в історії людства***

- 1.1 Розуміння неба, руху Сонця та планет було однією з перших спроб зрозуміти світ природи.
- 1.2 Ранні культури уявляли закономірності, що об'єднують зорі на нічному небі.
- 1.3 Астрономія надала важливі знання для вимірювання часу, що було потрібним стародавньому сільському господарству.
- 1.4 Астрономія була важливою для мореплавців у минулому.
- 1.5 Астрономія, котра застосовує науковий метод, відрізняється від астрології.
- 1.6 Деякі ранні культури вважали Землю центром Всесвіту.
- 1.7 Середньовічна революція Коперника привела до того, що Сонце замінило Землю як загально визнаний центр Сонячної системи.
- 1.8 Понад 400 років тому астрономи виконали перші методичні телескопічні спостереження.
- 1.9 Земля має приблизно сферичну форму, і це було доведено протягом століть багатьма різними способами.

## 2

### ***Астрономічні явища можна спостерігати в нашому повсякденному житті***

- 2.1 Ми бачимо зміну дня та ночі через добове обертання Землі.
- 2.2 Ми бачимо зміну пір року через нахил осі обертання Землі, коли наша планета обертається навколо Сонця протягом року.
- 2.3 Ми бачимо різні фази Місяця протягом місячного циклу.
- 2.4 Затемнення відбуваються через особливе розташування Землі, Сонця та Місяця.
- 2.5 Припливи на Землі є наслідком дії гравітації Сонця та Місяця.
- 2.6 Світло від Сонця є важливим для більшості форм життя на Землі.
- 2.7 Частинки від Сонця досягають Землі та спричиняють полярні сяйва.
- 2.8 Технології, розроблені для астрономічних досліджень, є частиною нашого повсякденного життя.

## 3

### *Нічне небо багате та динамічне*

- 3.1 Ми можемо бачити очима кілька тисяч зір в ясну і темну ніч.
- 3.2 Усі зорі, які ми бачимо неозброєним оком, належать до нашої галактики.
- 3.3 Нічне небо може допомогти вам орієнтуватися на Землі та у просторі.
- 3.4 Вісь обертання Землі повільно описує конус у просторі (зазнає прецесії) протягом тисяч років.
- 3.5 Лише кілька небесних тіл достатньо яскраві, щоб їх можна було побачити неозброєним оком вдень, тобто коли Сонце перебуває над горизонтом.
- 3.6 Небесні світила сходять на сході та заходять на заході через обертання Землі.
- 3.7 Зорі мерехтять через атмосферу Землі.
- 3.8 Мільйони метеороїдів щодня потрапляють в атмосферу Землі.

## 4

### *Астрономія – це наука, що вивчає небесні об'єкти та явища у Всесвіті*

- 4.1 Світло (інакше відоме як електромагнітне випромінювання) є основним джерелом інформації для астрономічних досліджень.
- 4.2 У великих масштабах гравітація є визначальною взаємодією у Всесвіті.
- 4.3 Гравітаційні хвилі та субатомні частинки також дають змогу вивчати Всесвіт.
- 4.4 Астрономія використовує дані, отримані зі спостережень та математичних моделей, для побудови теорій астрономічних явищ.
- 4.5 Астрономічні дослідження поєднують знання з різних галузей, таких як фізика, математика, хімія та біологія.
- 4.6 Астрономія поділяється на кілька галузей.
- 4.7 Шкали часу та відстані в астрономії набагато більші за ті, що ми використовуємо у повсякденному житті.
- 4.8 Спектроскопія – важливий метод, що дає змогу досліджувати Всесвіт на різних відстанях.

# 5

## *Астрономія отримує користь від розвитку технологій та стимулює його*

- 5.1 Телескопи та детектори мають вирішальне значення для досліджень в астрономії.
- 5.2 Деякі менші телескопи можна об'єднати разом, щоб вони діяли як один великий телескоп.
- 5.3 Астрономічні обсерваторії розташовані на Землі та в космосі.
- 5.4 Наземні астрономічні обсерваторії часто розміщені у віддалених районах в усьому світі.
- 5.5 Нині астрономія є частиною «Великої науки» («Big Science») та «Великих даних» («Big Data»).
- 5.6 Складні математичні моделі та величезні обсяги даних в астрономії вимагають розробки потужних суперкомп'ютерів.
- 5.7 Астрономія — це глобальна наука з міжнародними «командами», де відбувається вільне поширення даних та публікацій.
- 5.8 Численні космічні апарати були запущені в космос для вивчення Сонячної системи.

# 6

## *Космологія — це наука про дослідження Всесвіту в цілому*

- 6.1 Всесвіту близько 13,8 мільярда років.
- 6.2 Еволюцію Всесвіту можна пояснити моделлю Великого Вибуху.
- 6.3 Всесвіт складається переважно з темної енергії та темної матерії.
- 6.4 Всесвіт розширюється.
- 6.5 Всесвіт є однорідним та ізотропним.
- 6.6 Закони природи (наприклад, гравітація), які ми вивчаємо на Землі, здається, працюють однаково всюди у Всесвіті.
- 6.7 Ми можемо спостерігати лише частину всього Всесвіту.
- 6.8 Астрономи завжди спостерігають минуле.
- 6.9 Космічний мікрохвильовий фон дає змогу досліджувати ранній Всесвіт.
- 6.10 Розширення космосу спричиняє зміщення світла від далеких галактик.
- 6.11 Великомасштабну структуру Всесвіту складають нитки, шари та пустоти.

# 7

## Ми всі живемо на маленькій планеті в межах Сонячної системи

- 7.1 Сонячна система утворилася близько 4,6 мільярда років тому.
- 7.2 Сонячну систему становлять Сонце, планети, супутники планет, комети, астероїди та крижані тіла.
- 7.3 У Сонячній системі вісім планет.
- 7.4 У Сонячній системі є кілька карликових планет.
- 7.5 Планети поділяють на землеподібні (кам'янисті) та газові гіганти.
- 7.6 Деякі планети мають десятки природних супутників.
- 7.7 Земля — третя планета, що обертається навколо Сонця, і має один природний супутник — Місяць.
- 7.8 Існують мільйони астероїдів, які є залишками з раннього етапу формування Сонячної системи.
- 7.9 Комета — це крижане небесне тіло, яке утворює хвіст, коли її нагріває Сонце.
- 7.10 Сонячна система має різні межі, одну з яких називають геліопауза.

# 8

## Ми всі складаємося із зоряного пилу

- 8.1 Зоря — це небесне тіло, що світиться самостійно і яке генерує енергію через ядерні реакції в своєму ядрі.
- 8.2 Зорі утворюються з масивних хмар пилу та газу.
- 8.3 Найближча до Землі зоря — Сонце. Воно має помірний розмір і масу, ні велику, ні малу, як порівняти з іншими зорями.
- 8.4 Колір зорі вказує на температуру її поверхні.
- 8.5 Простір між зорями може бути переважно порожнім або містити хмари газу з яких виникають нові зорі.
- 8.6 Зоря проходить життєвий цикл, який значною мірою визначає її початкова маса.
- 8.7 Масивні зорі закінчують свій життєвий цикл як чорні діри зоряної маси.
- 8.8 Нові зорі та їхні планетні системи утворюються з матерії від попередніх зір, які існували в цьому районі Всесвіту.
- 8.9 Людське тіло складається з атомів, які можна простежити аж до колишніх зір.

# 9

## *У Всесвіті існують сотні мільярдів галактик*

- 9.1 Галактика — це велика система зір, пилу та газу.
- 9.2 Галактики містять велику кількість темної матерії.
- 9.3 Формування галактик — це еволюційний процес.
- 9.4 Існує три основні типи галактик: спіральні, еліптичні та неправильні.
- 9.5 Ми живемо у спіральній галактиці під назвою Молочний Шлях.
- 9.6 Спіральні рукави галактик утворені скупченнями газу та пилу.
- 9.7 Більшість галактик мають надмасивну чорну діру в центрі.
- 9.8 Галактики можуть бути надзвичайно віддалені одна від одної.
- 9.9 Галактики утворюють скупчення.
- 9.10 Галактики взаємодіють одна з одною через гравітацію.

# 10

## *Можливо, ми не самотні у Всесвіті*

- 10.1 Органічні молекули виявлено за межами Землі.
- 10.2 Встановлено, що живі організми виживають в екстремальних умовах на Землі.
- 10.3 Сліди рідкої води відкривають можливість існування примітивного життя на Марсі.
- 10.4 Деякі природні супутники Сонячної системи, схоже, мають умови для існування життя.
- 10.5 Існує безліч планет, які називають екзопланетами, що обертаються навколо інших зір.
- 10.6 Екзопланети можуть бути дуже різноманітними і часто утворюють планетні системи.
- 10.7 Ми зараз близькі до виявлення планети, схожої на Землю.
- 10.8 Науковці ведуть пошук позаземного розуму.

# 11

## *Ми повинні зберегти Землю, наш єдиний дім у Всесвіті*

11.1

Світлове забруднення впливає на людей, багатьох тварин і рослини.

11.2

На орбіті Землі багато сміття, залишеного людиною.

11.3

Ми стежимо за потенційно небезпечними космічними об'єктами.

11.4

Люди мають значний вплив на довкілля Землі.

11.5

Клімат і атмосфера сильно залежать від діяльності людства.

11.6

Для збереження нашої планети потрібні спільні зусилля землян.

11.7

Астрономія надає нам унікальну космологічну перспективу, яка зміцнює нашу єдність як громадян Землі.

# 1

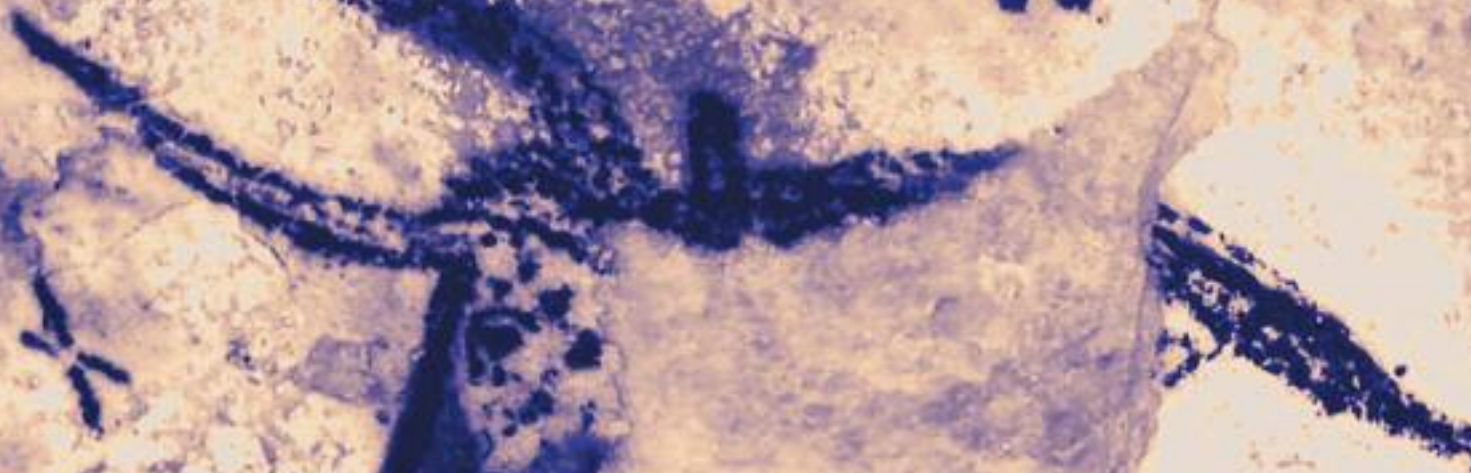
## Астрономія — одна з найдавніших наук в історії людства



---

Доісторичний малюнок у печері Ласко.  
Група цяток над задньою частиною  
бика нагадує астеризм Плеяди.

Авторські права на зображення:  
Ministère de la  
Culture/Centre National de la  
Доісторія/Norbert Aujoulat



## 1.1

### Розуміння неба, руху Сонця та планет було однією з перших спроб зрозуміти світ природи

Перші записи астрономічних спостережень — це малюнки та артефакти, створені доісторичними людьми, які документували те, що вони бачили на небі. У стародавніх культурах астрономія була пов'язана з релігійними та міфологічними віруваннями. Астрономічні явища використовували для вимірювання часу та створення календарів, що давало змогу таким культурам планувати щоденні та сезонні роботи.

## 1.2

### Ранні культури започаткували умовні візерунки, що з'єднують зорі на нічному небі

Візерунки на нічному небі, утворені з'єднанням зір за допомогою умовних ліній, тривалий час називали сузір'ями. Найдавніші сузір'я запровадили ранні культури. Ці впізнавані групи зір часто були пов'язані з культурними історіями та міфологією таких культур, як грецька, майя та китайська. В сучасній астрономії сузір'я — це чітко визначені ділянки неба, які поєднують як стародавні сузір'я, так і ті, що були визначені в 15, 16 та 17 століттях. Деякі культури, такі як корінні австралійці та корінні народи Південної Америки, також використовували візерунки. Але вони виокремлювали темні силуети в світлій смузі Чумацького Шляху.

## 1.3

### Астрономія надала важливі знання для вимірювання часу, що було потрібним стародавньому сільському господарству

Багато стародавніх культур розвивали астрономію для підвищення точності сільськогосподарських календарів. Наприклад, єгиптяни розробили календар на основі своїх спостережень за зорею Сиріус і використовували його для визначення щорічної повені річки Ніл.

## 1.4

### Астрономія була важливою для мореплавців у минулому

Багато цивілізацій використовували положення зір та інших небесних об'єктів для навігації на суші, в морях і океанах. Небесної навігації в деяких професіях навчають й донині.

## 1.5

### Астрономія, котра застосовує науковий метод, відрізняється від астрології

До нинішнього часу різниця між астрономією та астрологією була розпливчастою. Тепер астрономія та астрологія чітко розмежовані одна від одної. Астрономія — це наука, а астрологія — ні. Астрологія використовує положення небесних об'єктів для прогнозування майбутніх подій. Однак, широкі дослідження астрології та її прогнозів показують, що астрологія не є точною у своїх прогнозах і не має жодного наукового обґрунтування.

## 1.6

### Деякі ранні культури вважали Землю центром Всесвіту

Колись астрономи вважали, що Земля є центром Всесвіту. Цей геоцентричний погляд проіснував понад тисячоліття в європейських та азійських культурах. Інші культури, такі як ісламська та індійська, звернули увагу на геліоцентричні теорії (з Сонцем у центрі) невдовзі після 0 р. до н. е. Сучасні астрономи виявили, що Всесвіт, здається, не має певного центра в космосі.

## 1.7

### Середньовічна революція Коперника привела до того, що Сонце замінило Землю як загально визнаний центр Сонячної системи

У 16 столітті Коперник запропонував докази геліоцентричної теорії, в якій Сонце було центром Всесвіту, а Земля оберталася навколо нього. Хоча зараз ми знаємо, що Сонце не є центром Всесвіту, воно є центром Сонячної системи, але теорія геліоцентризму Коперника була революційною на той час, зробивши свій внесок у розвиток сучасної астрономії.

## 1.8

### Понад 400 років тому астрономи виконали перші методичні телескопічні спостереження

Хоча він не винайшов телескоп, Галілей був першим, хто використав його в наукових цілях. Вдосконаливши телескоп-рефрактор, Галілей відкрив фази Венери, кільця Сатурна та чотири найбільші супутники Юпітера, які досі називають галілеєвими супутниками. Його відкриття надали переконливі докази, що підтверджували геліоцентричну систему світу.

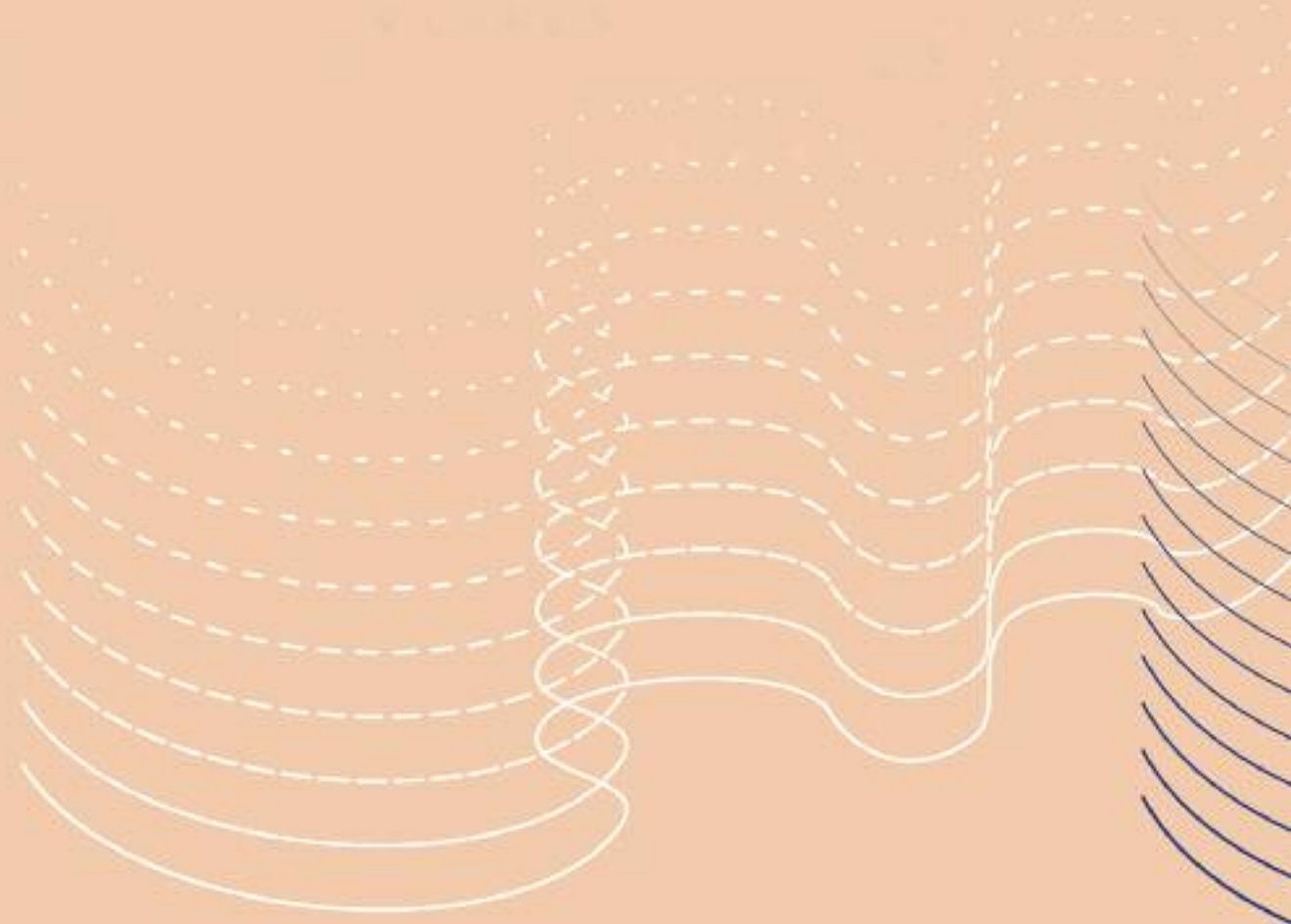
## 1.9

### Земля має приблизно кулясту форму, і це було доведено протягом століть багатьма різними способами.

Деякі ранні культури в багатьох регіонах світу уявляли Землю плоскою або диском, що було частиною тогочасного опису Всесвіту. Ідея про те, що Земля є сферою, існує вже кілька тисячоліть і була суттєвою в світогляді багатьох культур, ставши головною парадигмою понад 1000 років тому. Існує безліч емпіричних способів перевірити, що Земля має приблизно сферичну форму (технічно її називають сплющеним сфероїдом). Один із найдавніших математичних методів запропонував Ератосфен, який виміряв розміри Землі, аналізуючи довжину тіней, відкинутих палицями в різних місцях у Стародавньому Єгипті (III століття до н. е.).

# 2

## Астрономічні явища можна спостерігати в нашому повсякденному житті



Разюче світлове шоу на нічному небі — Aurora Borealis (Полярне сяйво), у дикій природі Аляски.

Авторські права на зображення: Jean Beaufort (Зображення із вільного джерела).



## 2.1

### Ми бачимо зміну дня та ночі через обертання Землі навколо себе.

.....

На стороні Землі, оберненій до Сонця, триває день, а на протилежній — ніч. Час, який потрібен Землі на поворот навколо своєї осі таким чином, щоб Сонце зайняло те саме положення на небі, визначає тривалість сонячної доби, яка в середньому становить 24 години.

## 2.2

### Ми бачимо зміну пір року через нахил осі обертання Землі, коли наша планета обертається навколо Сонця протягом року.

.....

Вісь обертання Землі нахилена на  $23,5^\circ$  відносно площини її орбіти навколо Сонця. З цієї причини одна з півкуль (північна чи південна) Землі нахилена до Сонця, а інша — від нього. У першій півкулі настає літо, бо сонячне світло падає прямо на її поверхню, а дні стають довшими, оскільки Сонце перебуває на більшій висоті на небі. З іншого боку, у півкулі, нахиленій від Сонця, настає зима, бо сонячне світло падає під великим кутом до поверхні, покриваючи більшу площу. Дні стають коротшими, оскільки Сонце перебуває на меншій висоті на небі.

## 2.3

### Ми бачимо різні фази Місяця протягом місячного циклу.

.....

Місяць обертається навколо Землі, а тому його положення відносно неї та Сонця змінюється. Із Землі ми бачимо зміну освітлення Місяця, тобто різні його фази — молодик, Місяць, що зростає, повний Місяць та спадний Місяць. Така зміна триває протягом 29,53 діб. Хоча фази Місяця (більш менш) однакові для будь-якого спостерігача на Землі, орієнтація Місяця на небі змінюється залежно від того, у якій півкулі перебуває спостерігач. Наприклад, деякі спостерігачі можуть бачити серп Місяця відкритим ліворуч, тоді як інші, спостерігаючи одночасно, але з іншого місця, можуть бачити серп відкритим праворуч.

## 2.4

### Затемнення відбуваються через особливе розташування Землі, Сонця та Місяця.

.....

Інколи, коли Місяць проходить точно між Землею та Сонцем, він блокує світло від Сонця та відкидає тінь на Землю, спричиняючи сонячне затемнення. Інколи Земля може перебувати прямо між Сонцем та Місяцем. У такому випадку Земля відкидає тінь на Місяць, що спричиняє місячне затемнення. Затемнення можуть бути частковими, коли затемнюється лише частина об'єкта, або повними, коли затемнюється весь об'єкт. Місячне затемнення відбувається лише під час повного Місяця і, отже, його можна спостерігати лише вночі. В будь-якому місці на Землі ви маєте більше шансів побачити місячне затемнення, ніж сонячне. Місячні затемнення також тривають довше, ніж сонячні.

## 2.5

### Припливи на Землі є наслідком дії гравітації Сонця та Місяця.

.....

Сонце і, більшою мірою, Місяць спричиняють припливи на Землі. Земля, особливо її океани, трохи випинаються як з боку, найближчого до Місяця та Сонця, так і з боку, що віддаляється від них. Коли Земля обертається, ці випинання досягають берегових ліній, що призводить до підвищення рівня води там. Коли Сонце, Земля та Місяць лежать на прямій лінії (під час повного Місяця та молодика), ми спостерігаємо вищі «весняні припливи». Навпаки, коли Сонце і Місяць перебувають під прямим кутом один до одного відносно Землі (під час першої та третьої чверті Місяця), ми спостерігаємо нижчі «квадратурні припливи».

## 2.6

### Світло від Сонця є важливим для більшості форм життя на Землі.

.....

Сонце — основне джерело енергії, яку використовують різні форми життя на Землі. Наприклад, рослини завдяки сонячному світлу здійснюють фотосинтез, що дає їм змогу рости і, як наслідок, виробляти молекулярний кисень. Цей кисень використовують тварини для дихання. Науковці вважають, що динозаври вимерли через брак сонячного світла, коли астероїд зіткнувся із Землею. Через вибух в атмосферу потрапила велика кількість пилу й заблокувала сонячне світло. Сонячне світло також впливає на наше фізичне та психічне здоров'я. Під впливом сонячного світла наша шкіра виробляє вітамін D, який відіграє важливу роль у біохімічних процесах нашого організму. Деякі дослідження показують зв'язок між депресією у людини та браком сонячного світла.

## 2.7

### Частинки від Сонця досягають Землі та спричиняють полярні сяйва.

.....

Коли на поверхні Сонця відбуваються сильні виверження, такі як сонячні спалахи або викиди корональної маси, то велика кількість електрично заряджених частинок покидає Сонце. Ці хмари частинок можуть вражати атмосферу Землі та спричиняти збурення в її магнітному полі. Взаємодія електрично заряджених частинок Сонця з молекулами та атомами в атмосфері Землі призводить до появи полярних сяйв — дивовижних світлових шоу, які видно навколо магнітних полюсів північної (Aurora Borealis) та південної (Aurora Australis) півкулі. Іноді це також може впливати на деякі системи енергопостачання на Землі, телекомунікаційні системи та навіть пошкодити штучні супутники на орбіті.

## 2.8

### Технології, розроблені для астрономічних досліджень, є частиною нашого повсякденного життя.

.....

Аналітичні інструменти та методи, які науковці використовують для обробки астрономічних даних, знайшли застосування у промисловості, медичних науках і технологіях. Детектори, спочатку розроблені для астрономічних досліджень, тепер також використовують в цифрових камерах, таких як ті, що є в наших мобільних телефонах. Спеціальне скло, розроблене для астрономічних телескопів, використовують у виробництві РК-екранів і комп'ютерних чіпів, а також у склокерамічних електричних плитах. Передача знань між астрономією та медициною сприяла розвитку магнітно-резонансної томографії (МРТ) та комп'ютерної томографії (КТ-сканерів).

# 3

## Нічне небо багате та динамічне

Зоряні сліди, що утворилися через обертання Землі, видно на цьому фото з довгою витримкою, зробленому на плато Чахнантор у Чилійських Андах.

Авторські права на зображення:  
S. Otavola/ESO.



×

×

## 3.1

### Ми можемо бачити очима кілька тисяч зір в ясну і темну ніч.

Коли ми дивимось в нічне небо, далеко від світлового забруднення міст та не під час молодика, ми можемо побачити приблизно 4000 зір неозброєним оком. Залежно від нашого місця розташування на Землі та від часу спостережень, п'ять найяскравіших планет нашої Сонячної системи, смугу Чумацького Шляху, дві галактики-супутники Молочного Шляху (Велику та Малу Магелланові Хмари) та галактику Андромеди (велика спіральна галактика) також видно неозброєним оком.

## 3.2

### Усі зорі, які ми бачимо неозброєним оком, належать до нашої галактики.

Хоча в трільйонах галактик у спостережуваному Всесвіті є мільярди зір, вони занадто далекі, щоб наші очі могли розрізнити їх як окремі цятки світла, і на порядки видимої зоряної величини слабші, ніж здатність наших очей збирати світло.

## 3.3

### Нічне небо може допомогти вам орієнтуватися на Землі та у просторі.

Дивлячись на нічне небо, можна знайти сторони світу. У північній півкулі найпростіший спосіб визначити напрямок на Північ — це знайти Полярну зорю, яка міститься дуже близько до Північного полюса світу. Найпростіший спосіб знайти Полярну зорю — через сузір'я Великої та Малої Ведмедиці. У південній півкулі, через відсутність яскравої зорі поблизу Південного полюса світу, найпростіший спосіб знайти Південь — це «спертися» на сузір'я Хрест і дві найяскравіші зорі в сузір'ї Кентавра.

## 3.4

### Вісь обертання Землі повільно описує конус у просторі (зазнає прецесії) протягом тисяч років.

Коли Земля обертається навколо своєї осі, вона рухається як обертова дзиґа. Напрямок її осі обертання змінюється у повільній прецесії з періодом близько 26 000 років. Через цей рух вісь з часом має різний напрямок, і, як наслідок, полюси світу повільно змінюють своє положення з часом. Наприклад, Полярна зоря зрештою перестане вказувати напрямок на північ, хоча це може робити інша зоря, залежно від напрямку осі Землі на той момент. Хоча наразі немає яскравої зорі поблизу Південного полюса світу, у майбутньому у нас буде така «Південна зоря»!

## 3.5

**Лише кілька небесних тіл достатньо яскраві, щоб їх можна було побачити неозброєним оком вдень, тобто коли Сонце перебуває над горизонтом.**

Більшість об'єктів нічного неба занадто тьмяні, щоб їх можна було спостерігати на тлі яскравого, освітленого Сонцем неба. Схожий ефект відбувається вночі в містах, де через світлове забруднення штучним світлом ми можемо побачити лише невелику кількість зір. Лише кілька небесних тіл достатньо яскраві, щоб їх можна було побачити неозброєним оком, коли Сонце перебуває над горизонтом. Залежно від його фази, можна побачити Місяць вдень. У певний час Венеру можна спостерігати вранці («Ранкова зоря») або ввечері («Вечірня зоря»). Особливо яскраву комету, хоча й дуже рідко, але також можна побачити вдень.

## 3.6

**Небесні світила сходять на сході та заходять на заході через обертання Землі.**

Через обертання Землі навколо своєї осі із заходу на схід, спостерігач на її поверхні бачить, як усе небо рухається у протилежному напрямку, зі сходу на захід, ніби обертаючись навколо нашої планети. Цей видимий рух неба навколо Землі називають добовим рухом. Саме тому ми бачимо, як кожне небесне тіло піднімається над східним горизонтом та заходить над західним.

## 3.7

**Зорі мерехтять через атмосферу Землі.**

Коли світло зорі потрапляє в нашу атмосферу та проходить через її різні шари, воно постійно змінює напрямок через зміну заломлення в шарах з різною температурою та щільністю. Як наслідок, яскравість світла зорі та напрямок, з якого воно досягає нас тут, на Землі, постійно змінюються. Для спостерігача на Землі здається, що зоря мерехтить. Для планет цей ефект набагато менш помітний (чи відчутний). Причина полягає в тому, що планети насправді можна побачити як маленькі диски (легко розрізнити за допомогою, наприклад, бінокля). Зорі ж здаються нам крихітними цятками світла, і оскільки все світло виходить з однієї точки, воно дуже чутливе до змін заломлення.

## 3.8

**Мільйони метеороїдів щодня потрапляють в атмосферу Землі.**

Метеороїд — це невеликий кам'янистий або металевий об'єкт розміром від піщинки до одного метра. Коли він потрапляє в атмосферу Землі, він нагрівається від тертя об частинки повітря, що спричиняє появу смуги світла на нічному небі. Це явище називають метеором (чи мигунець). Коли метеороїд виживає, проходячи крізь атмосферу Землі та падає на поверхню, його називають метеоритом. Хоча щодня в атмосфері Землі спалахують мільйони метеорів, більшість метеороїдів, з яких вони походять, згорають, не досягаючи землі.

# 4

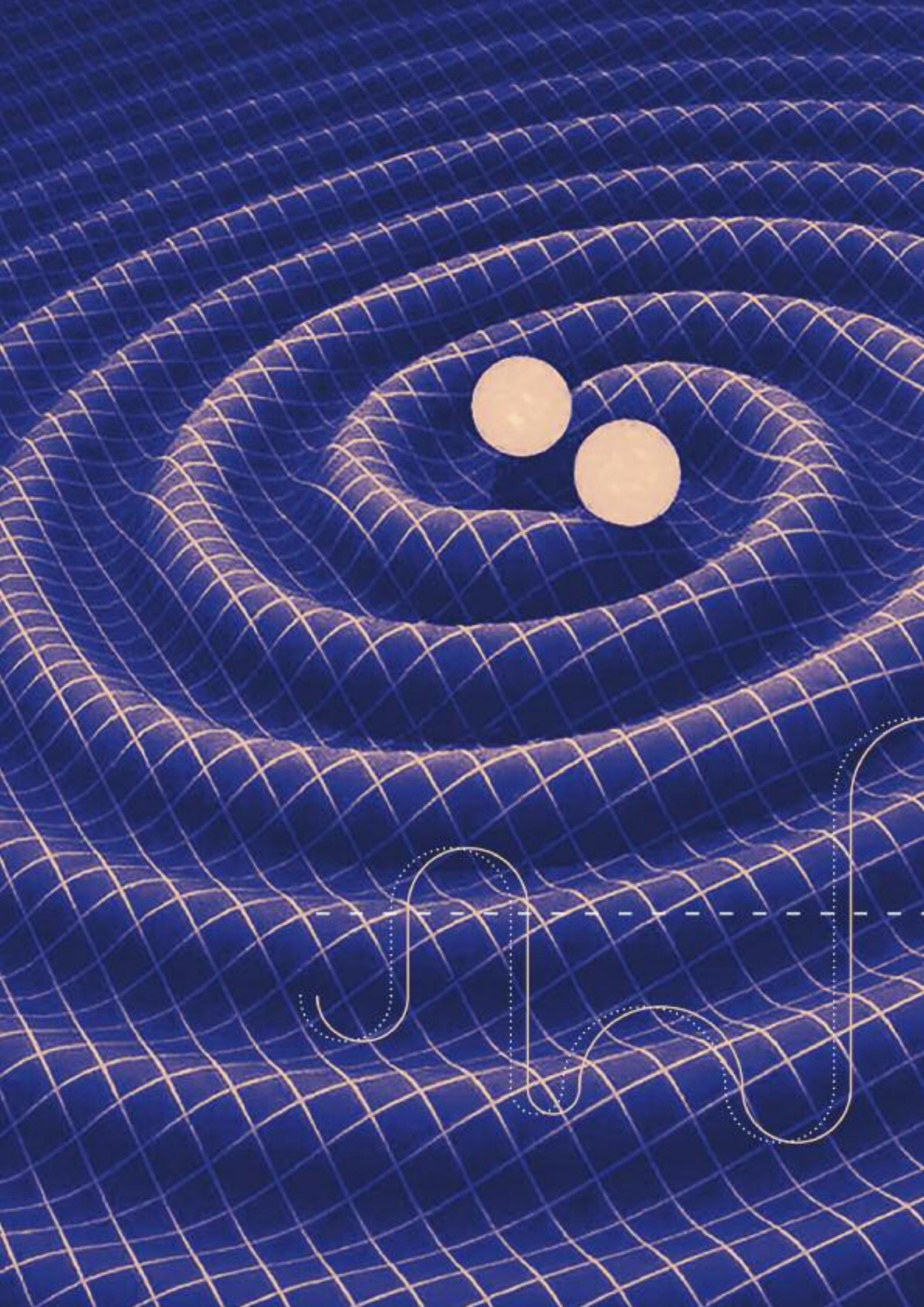
*Астрономія – це наука, що вивчає небесні об'єкти та явища у Всесвіті*



---

*Уявлення художника про гравітаційні хвилі, які генерують подвійні нейтронні зорі, що спірально рухаються одна до одної, перш ніж злитися.*

*Авторські права на зображення:  
R. Hurt/Caltech-JPL.*



## 4.1

Світло (інакше відоме як електромагнітне випромінювання) є основним джерелом інформації для астрономічних досліджень.

Оскільки більшість небесних об'єктів лежать занадто далеко, щоб до них подорожувати, ми змушені покладатися на електромагнітне випромінювання (світло) цих об'єктів для їх вивчення. Різні довжини хвиль електромагнітного спектра надають інформацію про різні механізми астрономічних явищ та природу небесних об'єктів. У сучасній астрономії вивчення Всесвіту головно виконують із застосуванням усього електромагнітного спектра: радіо, мікрохвиль, інфрачервоного, видимого і ультрафіолетового світла, рентгенівського та гамма-випромінювання.

## 4.2

У великих масштабах гравітація є визначальною взаємодією у Всесвіті.

У середньому астрономічні об'єкти не мають сумарного електричного заряду. Головним способом взаємодії таких об'єктів на великих відстанях є гравітація. Вона змушує планети обертатися навколо Сонця, зорі навколо центрів галактик та утримує гарячу плазму зір разом у сферичній формі. Більшість астрономічних явищ можна описати за допомогою закону всесвітнього тяжіння, але в найекстремальніших ситуаціях для точного опису потрібна загальна теорія відносності.

## 4.3

Гравітаційні хвилі та субатомні частинки також дають змогу вивчати Всесвіт.

Існування гравітаційних хвиль — брижів у просторі-часі — було теоретично передбачено в рамках загальної теорії відносності на початку 20 століття. Їх перше підтверджене пряме виявлення здійснено у 2015 році, і тепер науковці можуть використовувати їх як нове вікно для вивчення Всесвіту. Гравітаційні хвилі генерують сильні гравітаційні взаємодії, такі як злиття двох масивних чорних дір або нейтронних зір. Астрономи також реєструють різні види субатомних частинок, такі як нейтрино, електрони або протони, щоб дізнатися про внутрішню будову Сонця та деякі з найенергійніших процесів у космосі.

## 4.4

Астрономія використовує дані, отримані зі спостережень та математичних моделей, для побудови теорій астрономічних явищ.

Астрономи створюють математичні моделі астрономічних об'єктів, пов'язаних з ними явищ та їхньої еволюції. В основі цих моделей — фундаментальні теорії фізики та хімії. Деякі моделі становлять елементарні математичні співвідношення, складніші моделі створені завдяки числовому моделюванню. Найскладніші моделювання виконують за допомогою найбільших суперкомп'ютерів у світі. Дані телескопічних спостережень із застосуванням детекторів використовують для перевірки та уточнення моделей. Взаємодія між даними спостережень та моделями є важливою передумовою для астрономічних відкриттів.

## 4.5

Астрономічні дослідження поєднують знання з різних галузей, таких як фізика, математика, хімія та біологія.

Професійні астрономічні дослідження поєднують знання з математики, фізики, хімії, інженерії, комп'ютерних наук, а також інших галузей. Такий широкий погляд потрібний для виявлення та моделювання природи астрономічних об'єктів і явищ. Наприклад, щоб зрозуміти ядерні реакції, що відбуваються всередині зір, дослідникам потрібна ядерна фізика; щоб виявити утворені в атмосферах зір елементи, їм потрібна хімія. Інженерія є важливою для побудови телескопів та детекторів, а розробка спеціального програмного забезпечення має вирішальне значення для аналізу даних, які отримують за допомогою цих приладів.

## 4.6

Астрономія поділяється на кілька галузей.

Оскільки хороший опис астрономічних об'єктів та явищ вимагає добрих знань інших наукових галузей, сучасну астрономію зазвичай поділяють на спеціальності згідно з основними темами дослідження. Серед таких спеціальностей: астробіологія, космологія, спостережна астрономія, астрохімія, планетологія тощо. Астрономи також можуть обрати спеціальність з вивчення одного конкретного виду об'єктів, таких як білі карлики. З огляду на важливу роль, яку фізика відіграє в астрономії, терміни «астрофізика» та «астрономія» часто використовують як взаємозамінні.

## 4.7

Шкали часу та відстані в астрономії набагато більші за ті, що ми використовуємо у повсякденному житті.

Місяць — найближчий небесний об'єкт до Землі, що міститься на відстані близько 384 400 км. Сонце має діаметр 1,39 мільйона км, масу близько 1900 трильйонів мільярдів кг, і це найближча до Землі зоря на відстані майже 150 мільйонів км (що визначає астрономічну одиницю, а. о.). Найближча до Сонця зоря — Проксима Кентавра, яка лежить на відстані приблизно 4,25 світлових років. Один світловий рік — це відстань, яку світло проходить за один рік, що становить трохи більше 9 трильйонів кілометрів. Наша галактика має діаметр 100 000–120 000 світлових років, а інші галактики можуть бути віддалені на мільярди світлових років. Одиниці в астрономії набагато більші, ніж ми можемо собі уявити. Астрономічні шкали часу довгі, а вік у мільйони або мільярди років є типовим.

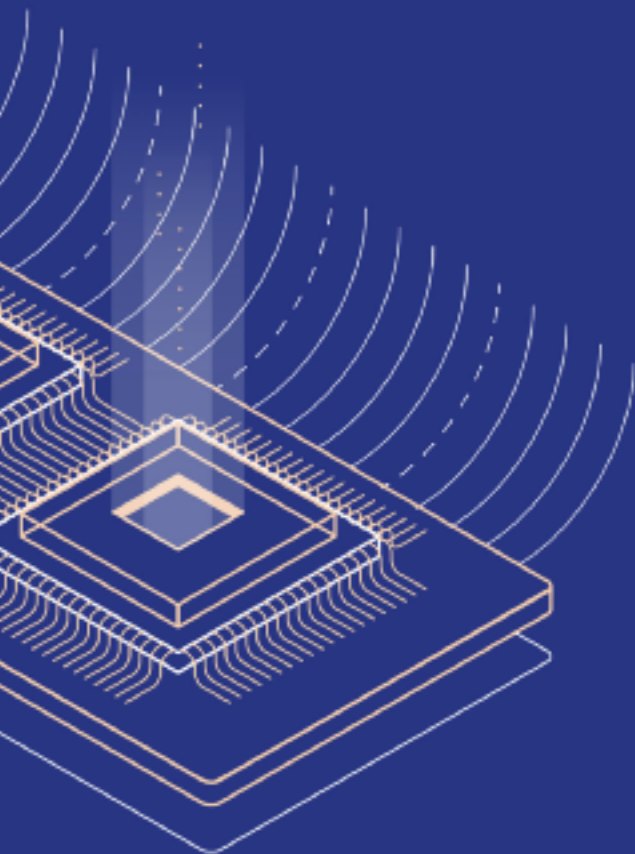
## 4.8

Спектроскопія — важливий метод, що дає змогу досліджувати Всесвіт на різних відстанях.

Кілька характеристик астрономічних об'єктів можна виявити, лише вивчаючи їхній спектр — розкладене світло на міриади різних кольорів, кожен з яких характеризує довжину хвилі світла. Через аналіз світла, зареєстрованого від цих об'єктів, астрономи можуть визначити такі їхні характеристики, як елементний склад, температуру, тиск, магнітне поле та інше.

# 5

*Астрономія отримує користь від розвитку технологій та стимулює його*



*Два з чотирьох телескопів 8-метрового класу, що входять до складу Дуже великого телескопа (Very Large Telescope, VLT), розташованого високо в Чилійських Андах.*

*Авторські права на зображення: ESO/P. Horálek.*



## 5.1

### Телескопи та детектори мають вирішальне значення для досліджень в астрономії.

Оскільки електромагнітні хвилі є основним джерелом інформації в астрономії, телескопи та детектори відіграють важливу роль у зборі та аналізі цих хвиль. Більші телескопи збирають більше світла, що дає змогу астрономам ідентифікувати та аналізувати дуже слабкі об'єкти. Більші телескопи також мають вищу роздільну здатність, що уможлиблює астрономам вивчати цільові об'єкти з більшою деталізацією. Тоді як ранні астрономічні спостереження виконували, дивлячись прямо через телескоп, нині детектори дають змогу астрономам об'єктивно документувати свої спостереження на багатьох різних довжинах хвиль.

## 5.2

### Деякі менші телескопи можна об'єднати разом, щоб вони діяли як один великий телескоп.

Об'єднавши багато телескопів, астрономи можуть змусити їх працювати як один великий телескоп, використовуючи метод, який називають інтерферометрія. Роздільна здатність об'єднаних інструментів буде такою ж, як у одного телескопа, діаметр якого дорівнює найбільшій відстані між будь-якими двома меншими, пов'язаними телескопами. Це дає змогу астрономам бачити дрібніші та тонші деталі в астрономічних об'єктах, а також розрізняти окремі об'єкти, такі як зоря та її планетна система.

## 5.3

### Астрономічні обсерваторії розташовані на Землі та в космосі.

Атмосфера Землі поглинає випромінювання більшої частини електромагнітного спектра. Вона прозора для видимого світла, деякого ультрафіолетового та інфрачервоного, а також короткохвильового радіовипромінювання, але для іншого здебільшого непрозора. Більшість ультрафіолетового та велика частина інфрачервоного світла, а також рентгенівські промені не можуть проникати крізь атмосферу. З цієї причини більшість телескопів, які збирають випромінювання, окрім видимого, радіо та малої кількості інших довжин хвиль, мають бути розміщені в космосі. Хоча видиме світло можна спостерігати з поверхні нашої планети, турбулентність земної атмосфери впливає на якість зображень, тому деякі оптичні телескопи також розміщують в космосі.

## 5.4

### Наземні астрономічні обсерваторії часто розміщені у віддалених районах в усьому світі.

Мало які місця на Землі забезпечують ідеальні умови для спостережень завдяки великим висотам, відсутності світлового забруднення та прозорості атмосфери для певних довжин хвиль. Ці місця часто можуть бути небезпечними, важкодоступними та зазвичай розташовані далеко від великих населених пунктів. Астрономи або приїжджають до цих місць для виконання спостережень, доручають місцевим досвідченим операторам телескопів виконувати їх за них, або використовують роботизовані телескопи, якими керують дистанційно.

## 5.5

### Нині астрономія є частиною «Великої науки» та «Великих даних».

Астрономічні дослідження стали постачати великі обсяги даних, і в найближчі роки цей обсяг зросте на багато порядків. Така зміна отримала назву «Астрономія великих даних», де основна увагу приділяють пошуку нових способів зберігання, передачі та аналізу цих даних. Це привело до розвитку різних громадських наукових проєктів, спрямованих на використання особливостей зору людини до розпізнавання образів. Сучасні телескопи та інструменти є дорогими, а їх будівництво вимагає різноманітних технічних навичок. Зазвичай їх будують міжнародні організації або консорціуми, до складу яких входять численні астрономічні інститути з різних країн.

## 5.6

### Складні математичні моделі та величезні обсяги даних в астрономії вимагають розробки потужних суперкомп'ютерів.

Обробка величезних обсягів даних, отриманих як за допомогою математичних моделей, так і зі спостережень, вимагає комп'ютерів, здатних виконувати складні розрахунки за короткий проміжок часу. Сучасні суперкомп'ютери можуть виконувати близько кількох сотень квадрильйонів обчислень щосекунди. Ці суперкомп'ютери дають астрономам змогу створювати змодельовані всесвіти та порівнювати їх зі спостереженнями, отриманими за допомогою масштабних досліджень.

## 5.7

### Астрономія — це глобальна наука з міжнародними «командами», де відбувається вільне поширення даних та публікацій.

Дані, доступні з більшості професійних обсерваторій, є загальнодоступними. Протягом своєї кар'єри астрономи зазвичай працюють у різних країнах. Масштабніші астрономічні проєкти, від будівництва телескопів та інструментів і до скоординованих спостережних кампаній, часто здійснюють у співпраці між дослідниками та інститутами з різних країн. Астрономія є глобальною та міжнародною. Ми всі є членами екіпажу «Космічного корабля Земля», під одним небом досліджуючи космос.

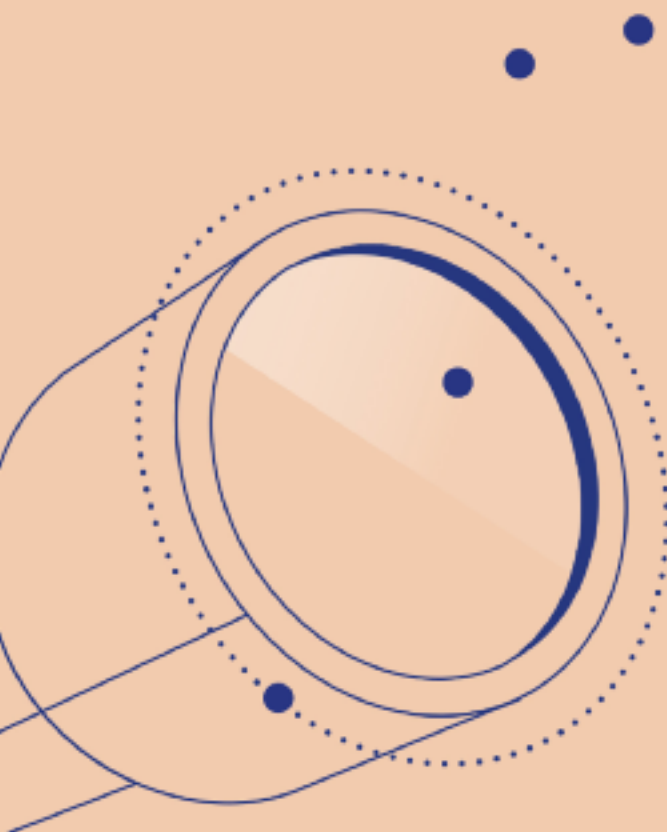
## 5.8

### Численні космічні апарати були запуснені в космос для вивчення Сонячної системи.

Щоб дослідити та дізнатися більше про наше місце у Всесвіті, ми відправляємо роботизовані зонди по всій Сонячній системі. Деякі з цих зондів обертаються навколо планет, супутників або навіть астероїдів, тоді як інші здійснюють посадку на такі об'єкти. Серед місць у Сонячній системі, які відвідали (зробили посадку, вийшли на орбіту або пролетіли) роботизовані зонди, є всі планети, карликова планета Плутон, Місяць та окремі супутники Юпітера і Сатурна, комети та астероїди.

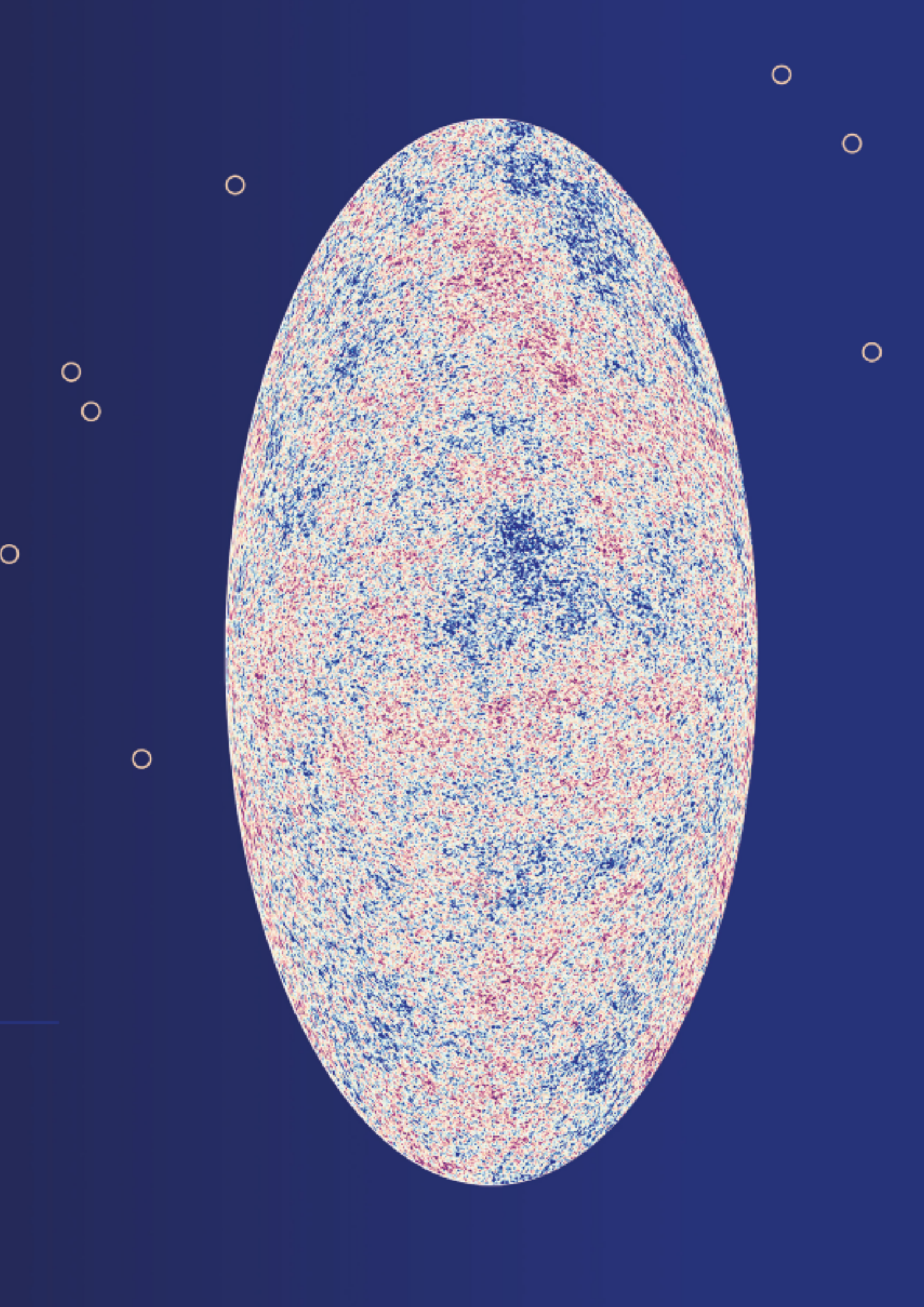
# 6

## Космологія — це наука про дослідження Всесвіту в цілому



Зображення космічного мікрохвильового фонового випромінювання (Cosmic Microwave Background, CMB), релікту, що залишився з часів, коли Всесвіту було 380 000 років.

Авторські права на зображення: Європейське космічне агентство та колаборація «Планк».



## 6.1

### Всесвіту близько 13,8 мільярда років.

Орієнтовний вік Всесвіту, заснований на сучасних спостереженнях та найсучасніших космологічних моделях його ранньої еволюції, становить 13,8 мільярда років. Космологія — це галузь досліджень, яка вивчає еволюцію та структуру Всесвіту.

## 6.2

### Еволюцію Всесвіту можна пояснити моделлю Великого Вибуху.

Згідно з найкращими доступними даними, вся матерія та енергія, які ми бачимо навколо нас, містилися в об'ємі, меншому за атом, 13,8 мільярда років тому. Всесвіт розширився з цієї фази дуже високої щільності та температури до свого сучасного стану. Гаряча, щільна рання фаза відома як Великий Вибух, а моделі, що описують розширення Всесвіту, мають назву Лямбда-CDM (де Лямбда означає компонент темної енергії Всесвіту, а CDM [Cold Dark Matter] — холодну темну матерію). На відміну від звичайних вибухів, коли матерія поширюється в раніше наявний порожній простір, весь доступний простір був заповнений матерією з самого початку, але середня щільність матерії з того часу зменшувалася. З моменту утворення галактик середні відстані між ними постійно збільшуються. Модель Великого Вибуху дає багато передбачень щодо нашого сучасного Всесвіту, які можна перевірити. Більшість з них були підтверджені за допомогою спостережних даних.

## 6.3

### Всесвіт складається переважно з темної енергії та темної матерії.

Зорі, повітря, яким ми дихаємо, наші тіла та все, що ми бачимо навколо, складається з атомів, які самі складаються з протонів, нейтронів та електронів. Ця так звана баріонна матерія — це те, з чим ми взаємодіємо у нашому повсякденному житті. Спостережені дані показують, що вона становить лише близько 5% від загальної енергії Всесвіту. Фактично, Всесвіт головно складається з невідомої форми енергії, яку називають темна енергія (близько 68%), та незвичайної форми матерії, яка називається темною матерією (близько 27%). Природа темної енергії та темної матерії є активною сферою досліджень, особливо завдяки спостереженням за їхнім впливом на баріонну матерію.

## 6.4

### Всесвіт розширюється.

У міру того, як Всесвіт систематично розширюється у великих масштабах, скупчення галактик віддаляються одне від одного. Дані спостережень показують, що, як і слід було очікувати від такого розширення, що далі міститься галактика від нас, то швидше вона від нас віддаляється. Гіпотетичні інопланетні спостерігачі в інших галактиках виявили б те саме. Зв'язані системи, такі як скупчення галактик, та групи галактик, пов'язані власною гравітацією, або самі галактики, не залежать від космічного розширення. У скупченнях та групах галактик окремі галактики можуть обертатися одна навколо одної або перебувати на шляху зіткнення одна з одною. Останнє стосується Молочного Шляху та Галактики Андромеди.

## 6.5

### Всесвіт є однорідним та ізотропним.

.....

У найбільших масштабах матерія у Всесвіті видається рівномірно розподіленою. Через цю майже однорідну щільність і структуру Всесвіт має майже однаковий вигляд в будь-якому місці (однорідний) і в будь-якому напрямку (ізотропний).

## 6.6

### Закони природи (наприклад, гравітація), які ми вивчаємо на Землі, здається, працюють однаково всюди у Всесвіті.

.....

Було виконано багато тестів, щоб з'ясувати, чи закони фізики, такі як закони гравітації, термодинаміки та електромагнетизму, однакові на Землі та у далекому Всесвіті. Поки що всі такі тести показують, що фундаментальні закони фізики однакові в усьому Всесвіті.

## 6.7

### Ми можемо спостерігати лише частину всього Всесвіту.

.....

Оскільки світло поширюється в космосі зі скінченною швидкістю і не могло розпочати свій рух до Великого Вибуху, існують віддалені ділянки Всесвіту, які ми ще не можемо спостерігати. Причина цього полягає в тому, що світло з цих ділянок не мало достатньо часу, щоб досягти наших детекторів на Землі. Ми можемо бачити лише об'єкти, що лежать у певній області, яку називають «Спостережуваний Всесвіт». Ця область містить всі об'єкти, світло яких мало час, щоб досягти нас. Астрономи можуть спостерігати за об'єктами на самій околиці цієї області. Вони здаються нам такими, якими вони були, коли Всесвіт тільки виник.

## 6.8

### Астрономи завжди спостерігають минуле.

.....

Через обмежену швидкість світла астрономи ніколи не бачать об'єкти такими, якими вони є зараз, а завжди такими, якими вони були в минулому. Ми можемо бачити Сонце лише приблизно вісім хвилин тому, бо світло від нього досягає нас приблизно за вісім хвилин. Ми бачимо Галактику Андромеди такою, якою вона була приблизно 2,5 мільйона років тому, оскільки світлу галактики потрібно стільки часу, щоб дійти до Землі. Отже, астрономи завжди спостерігають минуле, навіть до 13,8 мільярда років тому. Спостереження за астрономічними об'єктами на різних відстанях дає нам уявлення про космічну історію.

## 6.9

### Космічний мікрохвильовий фон дає змогу досліджувати ранній Всесвіт.

Найдавнішим електромагнітним випромінюванням, що виходить з найвіддаленіших районів Всесвіту, які ми можемо спостерігати, є космічний мікрохвильовий фон. Це релікт, що залишився від гарячого та щільного раннього Всесвіту, який несе інформацію з часів, коли Всесвіту було близько 380 000 років. Космічний мікрохвильовий фон дає нам змогу вимірювати головні характеристики Всесвіту в цілому: кількість темної матерії, баріонної матерії та темної енергії, яку він містить, геометрію Всесвіту та його поточну швидкість розширення. Космічний мікрохвильовий фон показує, що Всесвіт майже ізотропний, і, отже, також надає непрямі докази його однорідності.

## 6.10

### Розширення космосу спричиняє зміщення світла від далеких галактик.

Космічне розширення впливає на властивості світла у Всесвіті. Світло, що досягає нас від далеких галактик, зміщується все більше в червоний бік електромагнітного спектра зі збільшенням відстані. Це космологічне червоне зміщення можна зрозуміти або прямо з погляду на довжини хвиль світла, що зростають зі збільшенням космічного масштабного коефіцієнта, або як ефект Доплера. Ось чому далекі галактики можна спостерігати лише в інфрачервоному або радіодіапазоні, і чому космічне мікрохвильове випромінювання досягає нас переважно у вигляді мікрохвильового випромінювання.

## 6.11

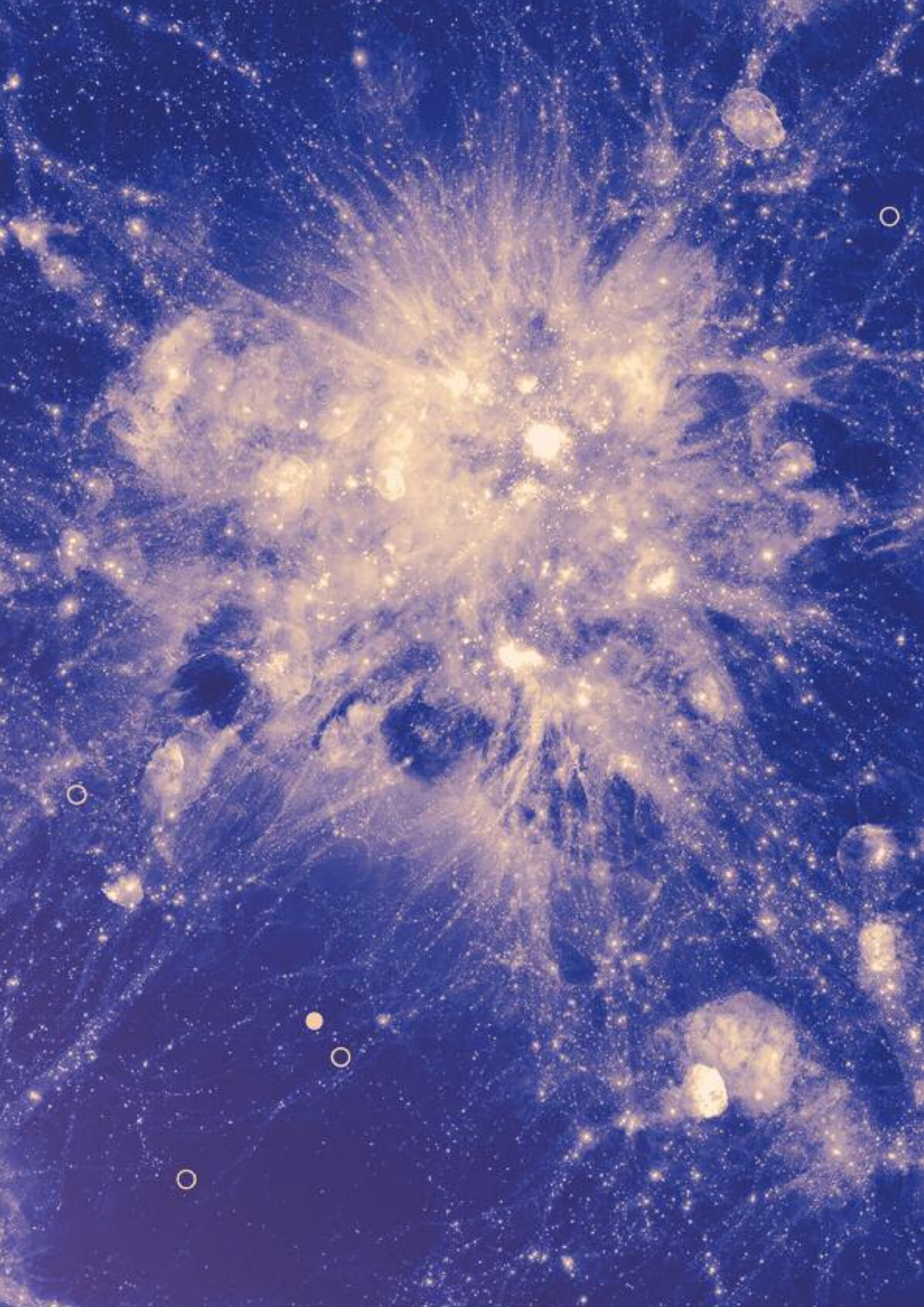
### Великомасштабну структуру Всесвіту складають нитки, шари та пустоти.

Масштабні дослідження червоного зміщення випромінювання у Всесвіті показали, що у великих масштабах порядку кількох сотень мільйонів світлових років Всесвіт нагадує тривимірну губчасту павутину з ниток і пустот, яку астрономи називають «космічною павутиною». Нитки та шари містять мільйони галактик. Ці великомасштабні структури простягаються на сотні мільйонів світлових років і зазвичай мають товщину десятки мільйонів світлових років. Нитки та шари утворюють межі навколо пустот, діаметр яких становить близько сотень мільйонів світлових років, і містять лише дуже мало галактик.

---

*Масштабне космологічне моделювання, що показує еволюцію ділянки Всесвіту, де швидкість розширення газу домінує над густиною темної матерії, тобто газ долає силу тяжіння цієї субстанції.*

*Авторські права на зображення:  
The Illustris Collaboration*



# 7

## *Ми всі живемо на маленькій планеті в межах Сонячної системи*

---

*Художнє зображення деяких екзопланет, що обертаються навколо зорі під назвою TRAPPIST-1, на орбіті якої є щонайменше сім кам'янистих планет розміром із Землю.*

*Авторські права на зображення:  
ESO/M. Kornmesser.*



## 7.1

### Сонячна система утворилася близько 4,6 мільярда років тому.

Радіоактивне датування найдавніших відомих земних порід дало нам змогу визначити вік Сонячної системи. Цей вік також узгоджується з датуванням зразків місячних порід і навіть метеоритів, знайдених на поверхні Землі.

## 7.2

### Сонячну систему становлять Сонце, планети, супутники планет, комети, астероїди та крижані тіла.

Наша планетна система складається з центральної зорі, яку ми називаємо Сонцем, та кожного об'єкта на її орбіті, що перебуває під впливом її гравітації. До цих об'єктів належать планети та їхні природні супутники, карликові планети, астероїди, метеороїди і комети. Понад 99,99% загальної маси Сонячної системи становить маса Сонця.

## 7.3

### У Сонячній системі вісім планет.

Згідно з резолюцією Міжнародного астрономічного союзу 2006 року, для того, щоб об'єкт вважати планетою, він має відповідати трьом критеріям. Перший — він повинен обертатися навколо Сонця. Другий — планета повинна мати достатню масу, щоб гравітація перетворила її на приблизно сферичну форму, і, нарешті, її гравітаційний вплив має бути достатнім, щоб очистити свою орбіту від інших об'єктів. Об'єкти, які не є супутниками та підпорядковуються першим двом правилам, але не третьому, називають карликовими планетами. Якщо рахувати від Сонця, планетами Сонячної системи є Меркурій, Венера, Земля, Марс, Юпітер, Сатурн, Уран і Нептун.

## 7.4

### У Сонячній системі є кілька карликових планет.

Карликові планети всі менші, ніж Місяць, діаметр якого становить близько 3489 км. Плутон наразі є найбільшою з карликових планет, за ним йдуть Ерида, Гаумеа, Макемаке та Церера. Кожен з цих об'єктів є твердим, з крижаними поверхнями та має схожий склад. Церера розташована між орбітами Марса та Юпітера, тоді як інші чотири карликові планети містяться за орбітою Нептуна, в поясі Койпера.

## 7.5

### Планети поділяють на землеподібні (кам'янисті) та газові гіганти.

Чотири планети, найближчі до Сонця, називають планетами земної групи. Усі ці планети мають тверду поверхню та складаються переважно з гірських порід. Меркурій не має атмосфери, але як порівняти із Землею, Венера має найщільнішу атмосферу, а Марс — найбільш розріджену. На відміну від малих внутрішніх планет, чотири зовнішні планети, які називають газовими гігантами, набагато більші. Ці планети переважно газоподібні (водень та гелій), а їхні атмосфери дуже щільні. Усі газові гіганти мають кільця навколо себе. Сатурн має, безумовно, різьбучу систему кілець, які видно навіть у досить маленький телескоп.

## 7.6

### Деякі планети мають десятки природних супутників.

.....

За винятком Меркурія та Венери, всі планети мають принаймні один природний супутник. Земля — єдина планета Сонячної системи, яка має лише один супутник. Марс має два супутники. На відміну від планет земної групи, всі газові гіганти мають велику кількість об'єктів, що обертаються навколо них. Маючи 285 (станом на початок 2026 р. — Ред.) підтверджених супутників, Сатурн є планетою з найбільшою кількістю природних супутників, за ним йдуть Юпітер, Уран і Нептун.

## 7.7

### Земля — третя планета, що обертається навколо Сонця, і має один природний супутник — Місяць.

.....

Наша рідна планета — третя планета від Сонця, і вона має майже колову орбіту. Атмосфера Землі складається переважно з азоту та кисню, а середня температура на її поверхні, яка на понад 70% покрита водою, становить 22 градуси Цельсія. Місяць — єдиний природний супутник Землі та єдиний небесне об'єкт, на який ступала нога людини.

## 7.8

### Існують мільйони астероїдів, які є залишками з раннього етапу формування Сонячної системи.

.....

Залишки раннього формування Сонячної системи можна знайти в поясі астероїдів, що міститься між орбітами Марса та Юпітера, та поясі Койпера, розташованому за орбітою Нептуна. Розміри цих астероїдів коливаються від приблизно 10 м до 1000 км, а сумарна маса всіх астероїдів у Сонячній системі менша за масу Місяця.

## 7.9

### Комета — це крижане небесне тіло, яке утворює хвіст, коли її нагріває Сонце.

.....

Комети переважно утворюються з льоду, але вони також містять пил і кам'янистий матеріал. Лід леткий і випаровується, коли комета наближається до Сонця через сонячні вітри та випромінювання, створюючи хвіст, який може розтягуватися на мільйони кілометрів. Хвіст комети завжди спрямований у протилежний бік від Сонця, незалежно від напрямку руху комети. Вторинний пиловий хвіст трохи вигнутий у напрямку, протилежному руху комети. Астрономи вважають, що більшість комет походять з двох певних регіонів: поясу Койпера, розташованого за орбітою Нептуна, та хмари Оорта на краю Сонячної системи.

## 7.10

### Сонячна система має різні межі, одну з яких називають геліопауза.

.....

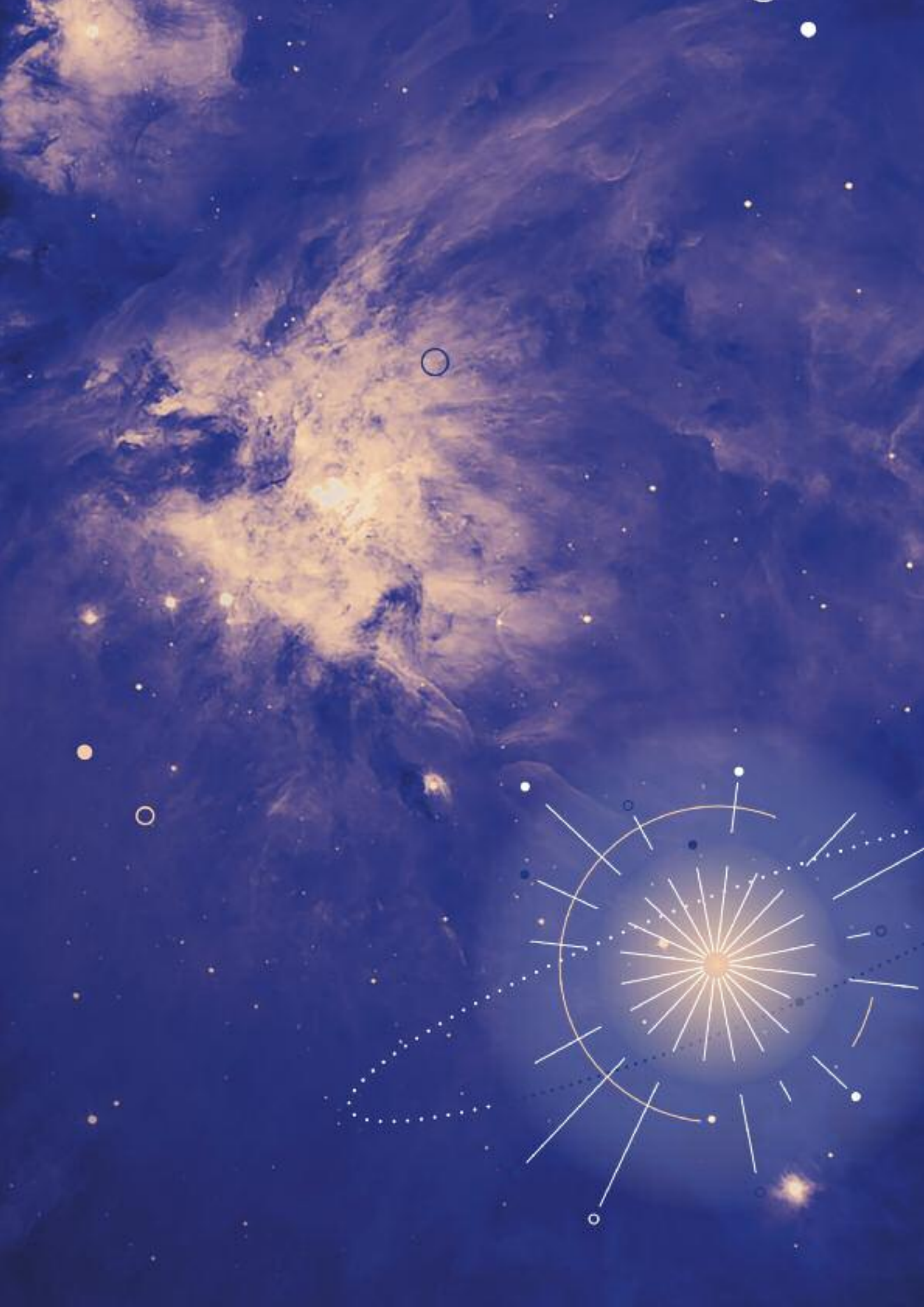
Немає єдиного визначення межі Сонячної системи. Район, де заряджені частинки від Сонця (через сонячний вітер) починають взаємодіяти із зарядженими частинками від інших зір, називають Геліооболонкою. Цей район обмежує геліопауза, за якою міститься геліосфера, де космічні промені більше не зазнають впливу сонячного вітру. У 2012 році космічний корабель Voyager 1 («Вояджер-1») став першим об'єктом, створеним людиною, який перетнув геліопаузу.

# 8

## Ми всі складаємося із зоряного пилу

Туманність Оріона (M42) — найближча масивна ділянка зореутворення, що лежить майже за 1500 світлових років від Землі.

Авторські права на зображення:  
NASA, ESA, M. Robberto (Space Telescope Science Institute/ESA) and the Hubble Space Telescope Orion Treasury Project Team.



## 8.1

**Зоря — це небесне тіло, що світиться самостійно і яке генерує енергію через ядерні реакції в своєму ядрі.**

Зорі утворюються з дуже гарячої плазми (газу, де електрони та ядра атомів значною мірою розділені), що тримається купи завдяки власній гравітації. Енергію зорі генерують термоядерні реакції, що відбуваються в її центрі. Спочатку із водню синтезується гелій через протон-протонний цикл (а для масивніших зір через цикл CNO — вуглець–азот–кисень), перш ніж відбудеться синтез важчих елементів. Зорі стабілізує тиск, який існує через енергію, що вивільняється під час процесів синтезу в її ядрі. Цей тиск випромінювання протидіє силі тяжіння зорі, яка змушує зорю стискатися, тобто колапсувати під дією власної гравітації. Таким чином, більшість зір з масою, такою як у Сонця або меншою, існують стабільно протягом кількох мільярдів або навіть десятків мільярдів років.

## 8.2

**Зорі утворюються з масивних хмар пилу та газу.**

Гравітаційний колапс гігантських холодних молекулярних хмар породжує зорі. У міру колапсу хмари вона фрагментується на ядра, центральні райони яких стають дедалі щільнішими та гарячішими. При перевищенні критичних значень температури та тиску починається термоядерний синтез, і народжується зоря. Цю молоду зорю спочатку оточує протопланетний диск з пилу та газу. Протягом мільйонів років він розпадається на фрагменти і з них виникають планети та менші небесні тіла.

## 8.3

**Найближча до Землі зоря — Сонце. Воно має помірний розмір і масу, ні велику, ні малу, як порівняти з іншими зорями.**

Маючи екваторіальний діаметр близько 1,4 мільйона кілометрів, Сонце, найближча до Землі зоря, таке велике, що всередині ми могли б помістити приблизно 1,3 мільйона Земель. Хоча наша зоря величезна, як порівняти з нашою планетою, у Всесвіті є набагато більші зорі. Червоний надгігант RSGC1-F01 в сузір'ї Щита, діаметр якого приблизно в 1450 разів перевищує діаметр Сонця, є найбільшою відомою натеper зорею. Якби його розмістити в центрі Сонячної системи, поверхня RSGC1-F01 простягалася б до орбіти Юпітера. Є також зорі, набагато менші за Сонце. Найближча зоря, Проксима Кентавра, — це червоний карлик діаметром близько 200 000 кілометрів, що лише в 20 разів перевищує діаметр Землі.

## 8.4

**Колір зорі вказує на температуру її поверхні.**

Зорі можуть мати температуру поверхні від кількох тисяч градусів Цельсія до п'ятдесяти тисяч градусів Цельсія. Гарячі зорі випромінюють більшу частину своєї енергії в синій та ультрафіолетовій ділянках електромагнітного спектра (на коротких довжинах хвиль) і тому мають блакитний вигляд при візуальних спостереженнях. Холодніші зорі червонуваті, бо вони випромінюють більшу частину своєї енергії в червоній та інфрачервоній ділянках електромагнітного спектра (на довгих довжинах хвиль).

## 8.5

**Простір між зорями може бути переважно порожнім або містити хмари газу з яких виникають нові зорі.**

Простір між зірками містить крихітні сліди матерії у вигляді газу, пилу та високоенергетичних частинок («космічні промені»). Цей вміст матерії називають міжзоряним середовищем. Воно може бути більш-менш щільним у різних частинах галактики. Однак навіть найщільніші ділянки міжзоряного середовища все ще в тисячу разів менш щільні, ніж найкращий вакуум, створений у земній лабораторії.

## 8.6

Зоря проходить життєвий цикл, який значною мірою визначає її початкова маса.

Комп'ютерне моделювання показує, що перші зорі мали тривалість життя кілька мільйонів років. На противагу цьому, середня тривалість життя зорі, схожої на Сонце, становить близько 10 мільярдів років. Червоні карлики з малою масою можуть жити трильйони років. Зоря з масою, подібною до маси Сонця, зрештою перетвориться на червоного гіганта, а пізніше викине більшу частину своєї маси в космос, залишивши після себе компактний білий карлик, оточений планетарною туманністю. Зоря з масою у щонайменше вісім сонячних мас перетвориться на червоного надгіганта, перш ніж вибухнути в події, яку називають надновою. Після такої зірки залишається нейтронна зоря або чорна діра зоряної маси.

## 8.7

Масивні зорі закінчують свій життєвий цикл як чорні діри зоряної маси.

Чорна діра — це область простору, екстремальне гравітаційне поле якої запобігає виходу будь-чого за межі горизонту подій, навіть світла. Горизонт подій — це ділянка навколо чорної діри, де швидкість, потрібна для виходу з її гравітаційного поля, більша за швидкість світла. Теоретичні моделі передбачають, що в центрі чорної діри є сингулярність, де густина матерії та кривина простору-часу наближаються до нескінченності. Чорні діри зоряної маси мають маси порядку кількох десятків сонячних мас, в області з радіусом від кількох кілометрів до десятків кілометрів (залежно від маси).

## 8.8

Нові зорі та їхні планетні системи утворюються з матерії від попередніх зір, які існували в цьому районі Всесвіту.

Окрім водню, більшої частини гелію та невеликої кількості літію, всі елементи у сучасному Всесвіті були утворені всередині зір. Зорі з малою масою, такі як Сонце, виробляють елементи аж до кисню через ядерний синтез, тоді як масивні зорі можуть створювати елементи, важчі за кисень, аж до заліза. Елементи, важчі за залізо, такі як золото та уран, утворюються під час вибухів високоенергетичних наднових та зіткнень зір. Коли зорі вмирають, вони вивільняють більшу частину своєї маси в міжзоряне середовище. З цієї матерії утворюються нові зорі в космічному варіанті кругообігу речовини у природі.

## 8.9

Людське тіло складається з атомів, які можна простежити аж до колишніх зір.

Елементи, окрім водню та гелію, головню утворювалися в надрах зір і вивільнялися в космос на останніх стадіях життя цих зір. Таке походження більшості елементів, з яких складаються наші тіла, зокрема кальцію у наших кістках, заліза в нашій крові та азоту в нашій ДНК. Так само, елементи, з яких складаються тварини, рослини та й більшість речей, які ми бачимо навколо нас, створені з атомів, які утворилися в зорях мільярди років тому.

# 9

## *У Всесвіті існують сотні мільярдів галактик*

---

*Надглибоке поле Габбла — це знімок невеликої ділянки космосу (близько 1/10 діаметра повного Місяця), що містить майже десять тисяч галактик.*

*Авторські права на зображення:  
NASA, ESA, and S. Beckwith (STScI)  
and the HUDF Team.*



## 9.1

### Галактика — це велика система зір, пилу та газу.

.....

Галактика містить від кількох мільйонів до сотень мільярдів зір, пов'язаних між собою силою тяжіння. Зорі галактики можуть бути частиною зоряних скупчень або частиною більшої сукупності окремих зірок, що пронизують галактику. Крім того, галактика містить зоряні залишки, пил, газ і темну матерію. Багато галактик мають надмасивну чорну діру в своєму центрі.

## 9.2

### Галактики містять велику кількість темної матерії.

.....

Темна матерія — це гіпотетичний тип матерії, яка не випромінює та не взаємодіє з електромагнітним випромінюванням, тому її неможливо побачити прямими спостереженнями. Хоча темну матерію не можна побачити, вона має масу, і її існування впливає з її гравітаційного впливу на видимі об'єкти. До таких ефектів належать рух видимих об'єктів та спотворення зображень через гравітаційне линзування. Галактики оточені набагато більшим гало темної матерії — у певному сенсі те, що ми бачимо в галактиці, є лише верхівкою айсберга.

## 9.3

### Формування галактик — це еволюційний процес.

.....

Протягом перших сотень мільйонів років історії Всесвіту темна матерія еволюціонує в численні великі, щільніші ділянки, які називаються гало. Коли водень і гелій потрапили в ці гало, утворилися перші галактики та перші зорі. Більші спіральні галактики, такі як Молочний Шлях, еволюціонували, притягуючи та об'єднуючи численні менші галактики. Великі еліптичні галактики утворювалися, коли масивніші галактики зіткнулися та злилися. Залежно від їхніх запасів газу та від нагрівання через вибухи зір або активність в галактичному центрі, ці галактики утворювали нові зорі зі збільшеним або повільнішим темпом.

## 9.4

### Існує три основні типи галактик: спіральні, еліптичні та неправильні.

.....

Згідно з їхньою візуальною морфологією, галактики класифікують на спіральні, еліптичні та неправильні. Ці типи різняться не лише формою, але й вмістом. Спіральні галактики мають сплюснені спіральні рукави, утворені переважно яскравими молодими зорями та великою кількістю газу і пилу. Натомість, еліптичні галактики містять менше газу. Їхні зорі здебільшого старі та розподілені в структурі яйцеподібної або сферичної форми. Деякі галактики, зокрема більшість карликових галактик, не мають жодної з цих двох стандартних конфігурацій і тому їх називають неправильними.

## 9.5

### Ми живемо у спіральній галактиці під назвою Молочний Шлях.

Наш Молочний Шлях — це спіральна галактика з перемичкою в центрі. Сонячна система розташована приблизно за 25 000 світлових років від центра, у спіральному рукаві. Видима частина нашої галактики — це дископодібна збірка із зір діаметром близько 100 000 світлових років і товщиною лише близько 2000 світлових років. У цьому диску молоді зорі та пил утворюють спіральні рукави. Темної ночі та з відповідно темного місця ми можемо побачити мізерну частку з понад 100 мільярдів зір в диску Галактики як величезну сріблясто-туманну смугу, що дугою простягається на небі. Це наш погляд зсередини рідної галактики.

## 9.6

### Спіральні рукави галактик утворені скупченнями газу та пилу.

Широко визнана теорія щодо формування спіральних рукавів полягає в тому, що вони є результатом руху хвилі щільності через диск галактики. Це призводить до накопичення зір, газу та пилу, подібно до затору на жвавій автомагістралі. Так виникають щільніші ділянки в диску, які ми сприймаємо як спіральні рукави. Ці ділянки високої щільності містять багато газу та пилу, які потрібні для формування нових зір. Спіральні рукави справді містять багато молодих яскравих зір, що підтверджує — в таких ділянках темп зореутворення високий.

## 9.7

### Більшість галактик мають надмасивну чорну діру в центрі.

Типова галактика містить приблизно 100 мільйонів чорних дір зоряної маси. Такі об'єкти утворюються, коли масивна зоря закінчує життя через вибух наднової. Дуже масивні чорні діри містяться в центрах більшості галактик і належать до іншого типу чорних дір, який має назву надмасивні чорні діри. Маса таких чорних дір лежать в межах від кількох мільйонів до понад мільярда сонячних мас. Наш Молочний Шлях має надмасивну чорну діру в центрі з масою близько 4 мільйонів сонячних мас. Перше пряме зображення горизонту подій чорної діри в центрі Галактики отримано у 2019 році шляхом об'єднання даних з восьми радіотелескопів у всьому світі.



## 9.8

### Галактики можуть бути надзвичайно віддалені одна від одної.

.....

Найближчим сусідом Молочного Шляху є карликова галактика Великого Пса, що лежить на відстані близько 25 000 світлових років. Далекі галактики здаються нам дуже тьмяними, тому їх важко спостерігати. Щоб отримати зображення далеких галактик, треба використовувати великі телескопи з високою роздільною здатністю та робити тривалі експозиції, щоб зібрати достатньо світла від цих об'єктів.

## 9.9

### Галактики утворюють скупчення.

.....

Галактики не розкидані абияк у Всесвіті. Найімовірніше, середня галактика є частиною скупчення галактик. Ці скупчення складаються з сотень або навіть тисяч галактик, пов'язаних між собою взаємними силами тяжіння. Скупчення галактик також згруповані в більші структури, які називають надскупченнями. Молочний Шлях є частиною того, що називають «Місцева група галактик». До її складу входять понад півсотні галактик різних типів. Місцева група є віддаленим членом скупчення Діви, яке є частиною надскупчення Діви, що є частиною надскупчення Ланіакея (Laniakea Supercluster).

## 9.10

### Галактики взаємодіють одна з одною через гравітацію.

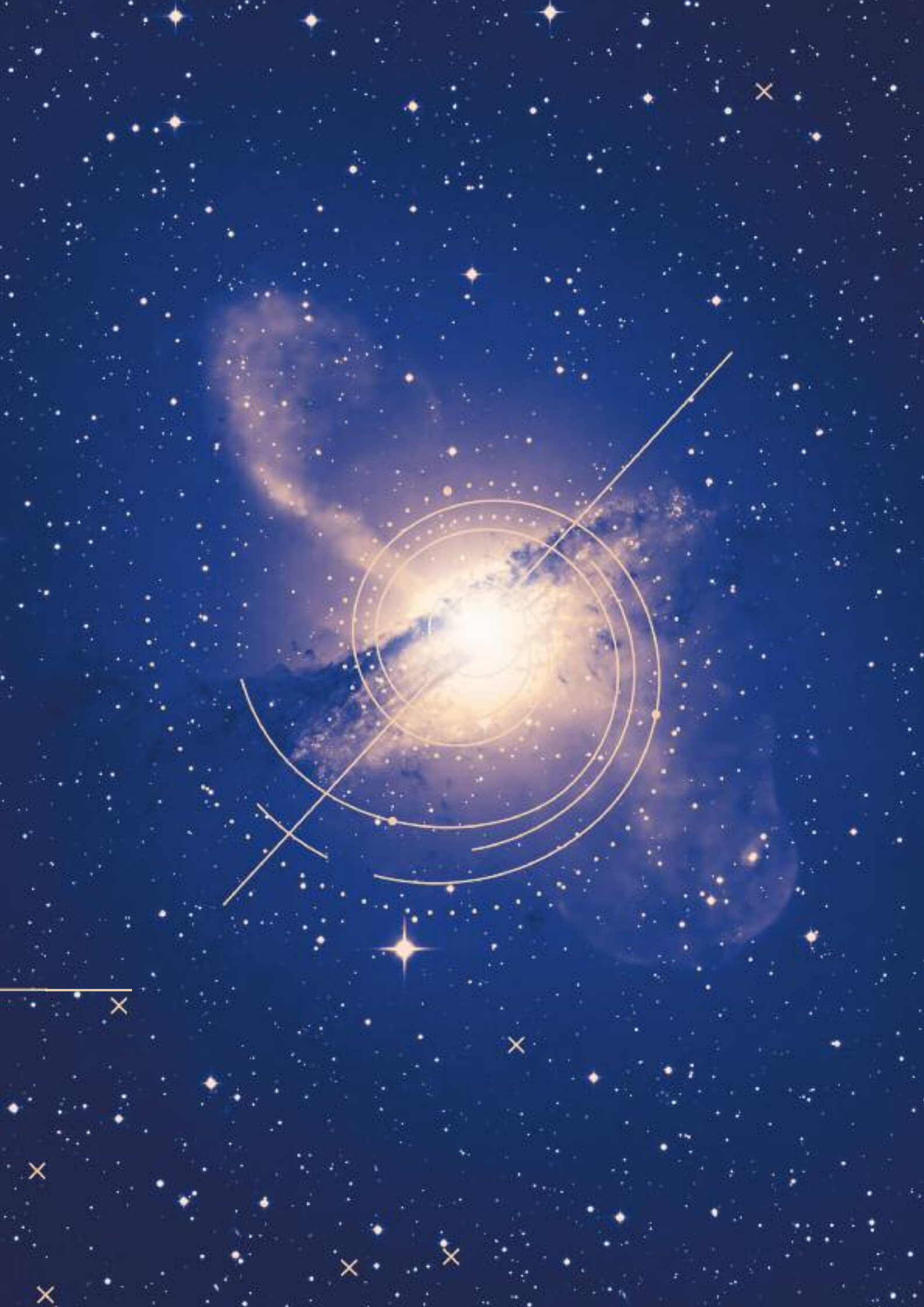
.....

Взаємодія між галактиками впливає на їх появу та еволюцію. Раніше астрономи вважали, що галактики одного типу можуть еволюціонувати в системи іншого типу протягом свого життя, але сучасні наукові знання показують: причиною виникнення деяких типів галактик є гравітаційна взаємодія. Наприклад, еліптичні галактики можуть утворюватися через злиття великих галактик-попередників, і водночас ці події можуть спровокувати інтенсивний спалах зореутворення у галактиках, що взаємодіють.

---

*Кольорове композитне зображення галактики Кентавр А, що показує частинки та струмені, які виходять з околиці центральної чорної діри цієї активної галактики.*

*Авторські права на зображення: ESO/WFI (оптичний діапазон); MPIfR/ESO/APEX/A.Weiss та ін. (субміліметровий діапазон); NASA/CXC/CfA/R.Kraft та ін. (рентгенівський діапазон).*



# 10

## Можливо, ми не самотні у Всесвіті



Зображення, зроблене за допомогою космічного апарата «Кассіні» з місця поблизу Сатурна, що лежить на відстані майже півтора мільярда кілометрів від нашої планети, показує Землю та Місяць (на них вказує стрілка).

Авторські права на зображення: NASA/JPL-Caltech/Space Science Institute.



## 10.1 Органічні молекули виявлено за межами Землі.

.....

Органічні молекули містять вуглець, який є основним будівельним блоком для життя, яким ми його знаємо. Спостереження за міжзоряним середовищем показують, що органічні молекули, такі як прості амінокислоти, присутні в космосі. Органічні молекули також знайдені в кометах і метеоритах. Дуже ймовірно, що такі молекули вже були присутні в газі та пилу, з яких утворилася Сонячна система.

## 10.2 Встановлено, що живі організми виживають в екстремальних умовах на Землі.

.....

Хоча більшість живих організмів на Землі чутливі до умов навколишнього середовища, деякі організми, екстремофіли, виживають в незвичайних умовах. Це показує, що життя може існувати там, де його найменше очікують. Такі організми можуть бути дуже стійкими до широкого діапазону температур, тиску, рН та радіаційного впливу. Деякі з них живуть у таких місцях, як пустелі, полюси Землі, глибоко в океані або навіть у вулканах. Один з найстійкіших відомих організмів може вижити в умовах вакууму. Ці факти є обережними підставами для оптимізму, коли йдеться про можливість життя на інших планетах або супутниках, які часто мають суворі, як порівняти із Землею, умови навколишнього середовища.

## 10.3 Сліди рідкої води відкривають можливість існування примітивного життя на Марсі.

.....

Рідка вода є головним фактором для розвитку життя, яким ми його знаємо. З цієї причини пошук рідкої води на інших планетах та їхніх супутниках був важливою метою у пошуках позаземного життя. У 2015 році рідку воду було знайдено на поверхні Марса, що підтвердило давню підозру щодо її існування на цій планеті. Хоча ця вода змішана із солями та зберігає рідкий стан лише за певних умов, її присутність дає додаткову підставу вважати, що прості форми життя могли існувати або досі існують на Марсі.

## 10.4 Деякі природні супутники Сонячної системи, схоже, мають умови для існування життя.

.....

Серед багатьох супутників, що обертаються навколо планет-гігантів Сонячної системи, деякі мають спільні характеристики з планетами земного типу, такі як щільні атмосфери та вулканічна активність. Європа, один з найбільших супутників Юпітера, має замерзлу поверхню, яка може покривати рідкий океан. Науковці вважають, що цей океан може забезпечити сприятливі умови для існування простих форм життя. Ще одним кандидатом на просте життя є Титан, один з найбільших супутників Сатурна. Титан багатий на складні органічні сполуки, має щільну атмосферу та рідкий метан на поверхні. Висунуто гіпотезу про наявність підземного водного океану.

## 10.5

### Існує безліч планет, які називають екзопланетами, що обертаються навколо інших зір.

З моменту відкриття першої планети, що обертається навколо іншої зорі, виявлено тисячі планет, котрі обертаються навколо зір, не схожих на Сонце, і які називають екзопланетами. Кількість відкритих екзопланет зростає прискореними темпами, і тепер астрономи можуть охарактеризувати сімейство екзопланет в оточенні Сонячної системи.

## 10.6

### Екзопланети можуть бути дуже різними і часто утворюють планетні системи.

Екзопланети демонструють широкий спектр фізичних та орбітальних властивостей. З масами від маси Меркурія до кількох разів більших за масу Юпітера, екзопланети можуть мати радіус від сотень кілометрів до кількох разів, більший, ніж радіус Юпітера. Періоди обертання екзопланет можуть бути короткими, всього кілька годин, а їхні ексцентриситети можуть бути такими ж високими, як і в комети Сонячної системи. Більшість екзопланет, зазвичай, перебувають в системах, які складають кілька планет, що обертаються навколо однієї зорі.

## 10.7

### Ми зараз близькі до виявлення планети, схожої на Землю.

Підвищуючи точність методів виявлення, ми тепер можемо знаходити планети з масою до однієї маси Землі та розміром приблизно із її радіус. Наші пошуки, хоча й обмежені, поки що показали, що околиця Сонячної системи кишить планетами. Деякі з цих планет навіть обертаються всередині так званої зони життя навколо материнської зорі. Згідно з визначенням, планета, що обертається в межах зони життя, отримує саме таку кількість випромінювання від своєї зорі, щоб забезпечити наявність рідкої води на своїй поверхні.

## 10.8

### Науковці ведуть пошук позаземного розуму.

Один зі способів пошуку позаземних цивілізацій — це пошук сигналів, які не могли бути природним чином отримані внаслідок жодного відомого астрономічного явища. Систематичний пошук таких сигналів відомий як «Пошук позаземного розуму» (Search for Extraterrestrial Intelligence, SETI). Поки що таких сигналів не знайдено, але антени SETI й далі сканують небо, шукаючи будь-які ознаки розвиненого життя за межами Землі.

**11**

*Ми повинні зберегти Землю, наш єдиний дім у Всесвіті*

---

*Нічний вид Землі з Міжнародної космічної станції, де видно штучне освітлення Південної Кореї та Японії.*

*Авторські права на зображення:  
NASA.*



## 11.1

### Світлове забруднення впливає на людей, багатьох тварин і рослини.

Протягом мільйонів років життя на Землі розвивалося за відсутності штучного освітлення, а види адаптувалися до денної або нічної активності. Від часу винаходу електрики люди дедалі більше зменшували нічну темряву за допомогою штучного освітлення, що спричиняє серйозні проблеми світлового забруднення. Бо воно має багато наслідків для довкілля Землі. Дика природа страждає, оскільки штучне освітлення змінює середовище існування тварини та прямо порушує її фізіологію. Наприклад, деякі види хижаків полюють лише тоді, коли темно, тоді як інші види використовують темряву, щоб сховатися від хижаків. Ми також втрачаємо темне небо, яке чарувало наші предки. У багатьох містах і селищах Чумацький Шлях нині практично неможливо побачити вночі.

## 11.2

### На орбіті Землі багато сміття, залишеного людиною.

З розвитком космічних технологій людство змогло відправляти численні об'єкти в космос за допомогою ракет-носіїв. З початку ери освоєння космосу кількість штучного сміття в космосі, такого як фрагменти ракет або старі супутники, різко зростає. Наразі навколо Землі обертається близько 500 000 одиниць уламків (станом на 2019 р. — Ред.), також відомих як космічне сміття. Оскільки космічне сміття рухається з високою швидкістю, будь-яке зіткнення з космічним кораблем або супутником може завдати серйозних пошкоджень. Це особливо ризиковано для Міжнародної космічної станції та інших космічних кораблів.

## 11.3

### Ми стежимо за потенційно небезпечними космічними об'єктами.

На ранніх стадіях формування Сонячної системи зовсім недавно сформовані планети часто зазнавали зіткнень з меншими тілами, такими як астероїди. Деякі кратери на поверхні Землі та всі ті, що є на Місяці, — це прямий доказ того, що такі зіткнення можуть бути дуже небезпечними. Хоча це все ще є темою досліджень та дискусій, але деякі науковці вважають, що вимирання динозаврів могло бути пов'язане з великим зіткненням астероїда із Землею приблизно 65 мільйонів років тому. Хоча ймовірність зіткнення такого масштабу в наші дні дуже низька, важливо стежити за всіма небесними об'єктами, які можуть стати потенційною загрозою для життя на Землі. Протягом наступних кількох років програми космічних агентств, обсерваторій та інших установ з моніторингу навколоремного простору мають отримати змогу виявити всі потенційно небезпечні астероїди розміром один кілометр або більше. Жоден з відомих астероїдів наразі не перебуває на шляху зіткнення із Землею.

## 11.4 Люди мають значний вплив на довкілля Землі.

.....

Індустріальне суспільство принесло нам численні переваги, але також спричинило кілька екологічних проблем на Землі. Через вирубку лісів та забруднення річок, океанів і атмосфери ми наносимо шкоду важливим джерелам чистого повітря та води, які потрібні для життя на Землі. Людство спричинило вимирання численних видів і продовжує видобувати корисні копалини та енергетичні ресурси в середовищах, що перебувають під загрозою зникнення. Глобальне потепління змінює наше довкілля у великих масштабах, наражаючи на небезпеку нас та багато видів.

## 11.5 Клімат і атмосфера сильно залежать від діяльності людства.

.....

Без атмосфери наша планета була б крижаним світом із середньою температурою  $-18^{\circ}\text{C}$ . Однак, парникові гази атмосфери частково поглинають теплове випромінювання, що виходить від землі, і випромінюють його назад до поверхні Землі, що робить нашу планету придатною для життя. Діяльність Людини різко збільшила рівень основних парникових газів в атмосфері Землі, що спричиняє розлад в енергетичному балансі планети. Збільшення цих газів призводить до накопичення більшої кількості енергії на Землі. Тому зростає середня температура на планеті. Земля не в змозі випромінювати надлишок енергії через свої природні системи і, як наслідок, відбуваються глобальні зміни клімату, що чутливий до енергетичного дисбалансу.

## 11.6 Для збереження нашої планети потрібні спільні зусилля землян.

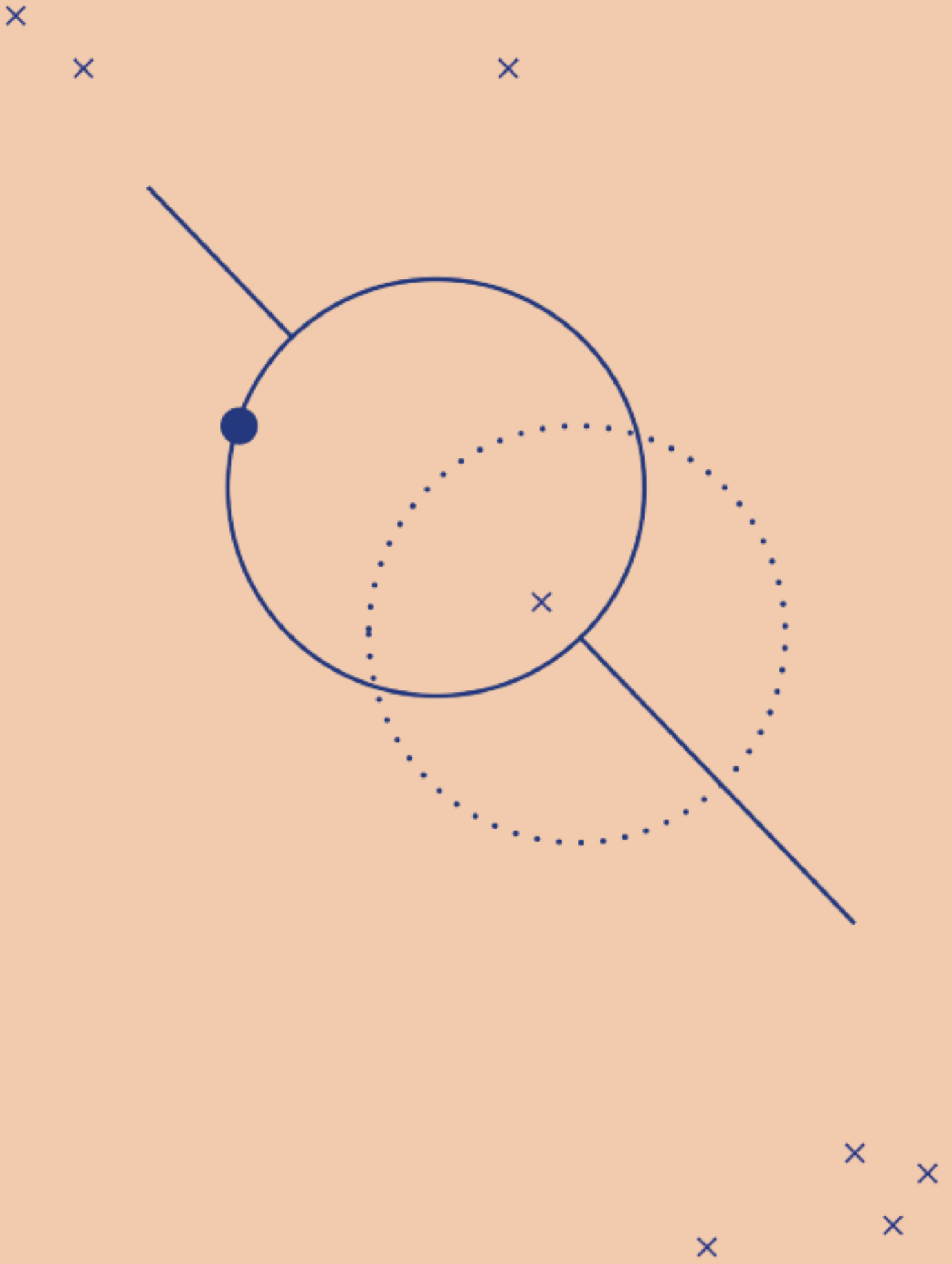
.....

Кожна людина є мешканцем цієї планети. Концепції глобального управління та відповідальності можуть допомогти нам зрозуміти, що кожен може діяти, як частина групи чи індивідуально, щоб допомогти вирішити глобальні проблеми. Необхідно зберегти Землю для наших нащадків. Наразі Земля — єдина планета у Всесвіті, яка, як ми точно знаємо, здатна підтримувати життя.

## 11.7 Астрономія надає нам унікальну космологічну перспективу, яка зміцнює нашу єдність як громадян Землі.

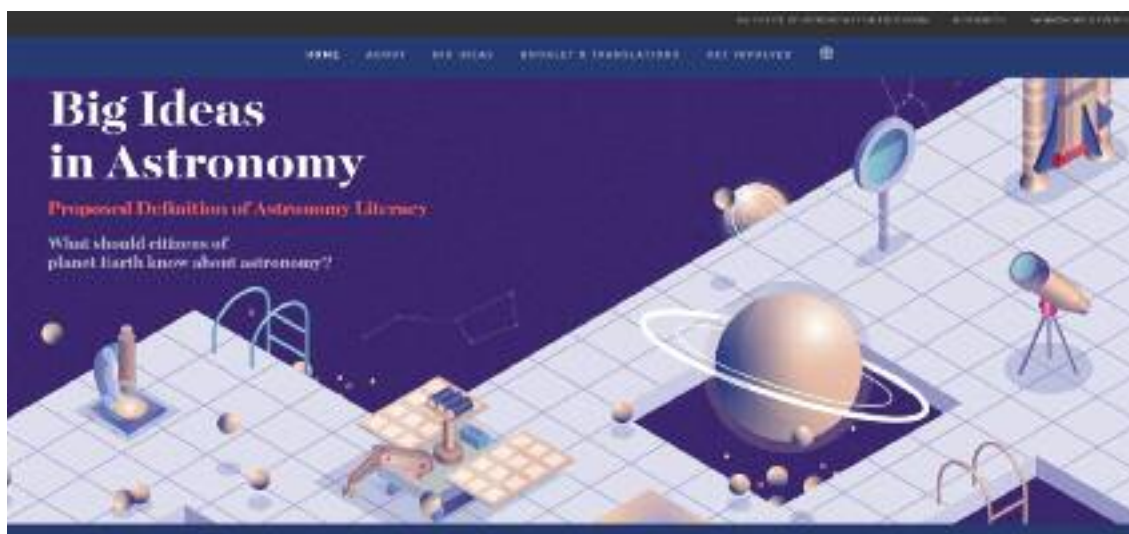
.....

Усі люди на Землі живуть під одним небом і мають спільний погляд на глибини Космосу. Зображення з космосу, що показують «Блакитну цятку» планети Земля, дали нам нове розуміння нашого спільного космічного корабля. Зовні кордони між окремими країнами здаються незначними. Зображення, отримані за допомогою космічних апаратів, таких як «Вояджер-2» (Voyager 2) та «Кассіні» (Cassini), допомагають нам усвідомити, що «Блакитна цятка» — це лише частинка у безмежності Всесвіту.



Науковці, які працювали над проектом «Великі уявлення з астрономії» (Big Ideas in Astronomy), підготували в червні 2020 року друге видання з оновленим текстом. Його вміщено за посиланням: [https://astro4edu.org/media/bigideas\\_images/BigIdeas\\_v2.0.pdf](https://astro4edu.org/media/bigideas_images/BigIdeas_v2.0.pdf).

Також створено сайт (<https://astro4edu.org/bigideas/>), де вміщено основні та додаткові матеріали щодо проекту.



Стратегічний план Міжнародного астрономічного союзу (МАС) на 2020—2030 роки ставить астрономічну освіту в основу зусиль світової астрономічної спільноти. МАС поставив собі за мету сприяти застосуванню астрономії для навчання та виховання на шкільному рівні. Автори цього документа сподіваються, що він сприяє досягненню цієї мети та надає перший аналіз та основу освітніх цілей в навчанні астрономічної грамотності.





Universiteit  
Leiden  
The Netherlands

ia  
Instituto de Astrofísica  
e Ciências de Espaço



ISBN 978-94-91760-21-1



9 789491 760211