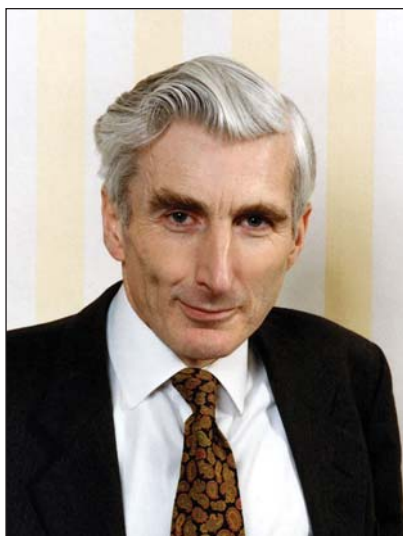


# Перспективи нашого космічного життя

Художнє уявлення про планету Kepler-22b, двійника Землі, відкрити за допомогою космічного телескопу "Кеплер" у 2011 р.  
NASA/Ames/JP\_L-Caltech



**Мартін Дж. Ріс**  
професор  
Інституту астрономії  
Кембриджського університету,  
м. Кембридж,  
Велика Британія

## 1. Вступ

У цій статті я спробую висвітлити деякі теми, які, здається, матимуть особливо цікавий розвиток впродовж наступних десятиліть. Не можу стверджувати, що сам я є великим пророком, тому хотів би згадати такого собі *Артура К. Кларка*. Він жив у Шрі-Ланці і помер 2007 року у 90-річному віці. Я хотів би обговорити три проблеми, які він би вважав цікавими: космос і позаземне життя; галактики та їх походження і (більш абстрактно) розмір нашого всесвіту.

## 2. Життя у космосі

*Кларк* говорив, що його найбільшим бажанням було прожити настільки довго, щоб побачити відкриття позаземного життя — на жаль, йому це не вдалося. Проте він прожив достатньо довго, щоб порівняти деякі зі своїх передбачень з реальністю — особливо стосовно космосу. Він, звичайно, не був першим, хто думав про космічні подорожі. Серед його попередників був величний *Ньютон*, який вирахував, з якою швидкістю потрібно вистрілити артилерійське ядро, щоб його траєкторія мала викривлення таке саме, як і поверхня Землі, а, отже, воно могло залишатись на її орбіті. Необхідна швидкість значно перевищувала потужності артилерії за ньютонівських часів. Проте вона була досягнута у 1957 році, коли Радянський Союз запустив перший супутник.

У 1960-ті роки пілотований космічний політ перейшов із пакетів з пластівцями до реальності. Але відтоді його романтичний ореол побляк. Тільки ті, хто сьогодні досягнув середнього віку, можуть пам'ятати темні телевізійні картини "одного маленького кроку" *Нейла Армстронга*. І майже 40 років минуло з того часу, як *Джек (Гаррісон) Шмідт* і *Юджин Сернан*, останні люди, які побували на Місяці, повернулись на Землю. Багато з нас чекали тоді на місячні бази і навіть на експедиції до Марса впродовж наступних тридцяти років. Але 2001 рік схожий на передбачений *Кларком* не більше, ніж 1984 (на щастя) схожий на Оруелівський. Перегони до Місяця були річчю у собі — майже як трюк — породженими суперництвом наддержав. Їхня рушійна сила втрачена. Програма "Аполлон" зараз здається віддаленим історичним епізодом: молодь усього світу вчить, що Америка висадила людей на Місяць так, як і те, що єгиптяни збудували піраміди; але мотивація і в першому, і в другому разі уявляється химерною.

Проте розвиток отримали дослідження за допомогою космічних апаратів. Безпілотні зонди, відправлені до інших планет, передали на Землю картини різноманітних і відмінних світів. Можливо, найдивовижнішим тріумфом робототехніки був зонд "Гюйгенс", який спустився на гігантський супутник Сатурна — Титан — без будь-якого контролю в 'реальному часі' (радіосигнали від Землі до Титану доходять через години).

*Я сподіваюсь, що протягом століття уся Сонячна система буде досліджена і картографована флотилією малих автоматичних кораблів. Космос також наповниться роботами і "фабрикаторами", які дозволять виконувати будівельні проекти, використовуючи позаземну сировину. Але чи супроводжуватимуть їх люди?*

На питання щодо відправлення людей у космос моя відповідь як науковця і практичної людини буде негативною, але як просто людини — я за це. У практичному аспекті пілотований космічний політ завжди програє порівняно з автоматичним і невеликим. Проте, я сподіваюся, що дехто з людей, які живуть тепер, пройдеться по Марсу. Однак будуть і ризики: потрібно відверто це усвідомлювати. Модель поведінки майбутніх астронавтів, напевне, має бути такою, як у визначних дослідників у далеку давнину, які добровільно йшли на величезні ризики. Пам'ятайте, що ніде в нашій Сонячній системі немає середовища навіть такого помірного як Антарктика чи вершина Евересту. Космос не забезпечує втечу від земних проблем.

Тепер давайте поглянемо пильніше далі за межі нашої Сонячної системи — на інші зорі. З 1990-х років ми дізнаємось дещо, що робить нічне небо набагато цікавішим. Зорі не є просто мерехтливими "світловими точками". Навколо них обертається кортеж планет саме так, як і навколо Сонця. Для більшості з них не виявлено орбіти, але вони спричиняють коливання положення центральної зорі навколо центра тяжіння. Уже знайдено сотні планет поза Сонячною системою.

На сьогодні доведено існування планет-гігантів — об'єктів за розмірами схожих на Сатурн чи Юпітер. Але нас особливо цікавлять можливі "планети-двійники" нашої Землі, такого ж розміру як наша, які обертаються навколо сонцеподібних зір, на орбітах з такими температурами, при яких вода не кипить і не замерзає. Виявлення планет, подібних до Землі, — це справжній виклик.

Ми можемо бачити їхню тінь — зоря злегка темнішає, коли планета рухається перед нею, тобто коли планета проходить "транзитом" по диску зорі. Але ми насправді хотіли б бачити ці планети безпосередньо, а не тільки їхні тіні. А це зробити важко. Щоб зрозуміти наскільки важко, припустимо, що астроном-інопланетянин спостерігав за Землею за допомогою потужного телескопу з відстані, скажімо, 30 світлових років. Наша планета здавалась би, за словами *Карла Сагана*, "блідою блакитною цяткою", розташованою дуже близько до зорі (нашого Сонця), яке яскравіше від неї у мільйони разів: світлячок поблизу прожектора. Блакитна тінь трохи б змінювалась залежно від того, повернута до них земна куля Тихим океаном чи Євразійським континентом. Інопланетяни могли б встановити тривалість "доботи", наявність пір року, загальний рельєф і клімат. Аналізуючи слабе світло, вони могли б, можливо, виявити існування на ній біосфери. (Від ред. — Космічний телескоп "Кеплер", запуск якого відбувся 2009 року, вже виявив близько 2500 потенційних планет. Нині статус екзопланети мають близько 1000 небесних об'єктів. У грудні 2011 року підтвердилося, що планета Kepler-22b, відкрита за допомогою "Кеплер", є двійником Землі, тобто перебуває в зоні Золотоволоски, потенційно придатній для розвитку життя. Зоря, навколо якої обертається планета Kepler-22b, подібна до Сонця, а відстань до неї становить 600 світлових років. Радіус планети у 2,4 раза більший за радіус Землі, а середня температура може становити 22°C).

Впродовж 20 років антени космічних телескопів чи нове покоління величезних наземних телескопів виявлять планети такого ж розміру як наша Земля, які обертаються навколо зір типу нашого Сонця. Чи буде знайдено життя на якійсь із них? Ми знаємо занадто мало навіть для того, щоб оцінити вірогідність цього. Ми досі не розуміємо, у який спосіб зародилося життя тут на нашій Землі, яка сьогодні є природним середовищем для величезного розмаїття істот, від плісняви до мавп (і, звичайно, людей також). Пошук життя за межами Сонячної системи виправдано зосередиться на планетах, схожих на Землю, які обертаються нав-

коло довговічних зір сонячного типу. Але, можливо, нам потрібно бути менше зосередженими на самих собі. Хіба не можуть існувати кулеподібні створіння, які плавають у щільних атмосферах планет, подібних до Юпітера? А письменники-фантасти мають ще й інші ідеї. (*Краще, між іншим, читати першокласну наукову фантастику, таку як у Артура К. Кларка, ніж другорядні наукові роботи*). Пошук позаземного життя є захопливим завданням: результати його розв'язання матимуть такий самий глибокий вплив на розуміння нашого місця у природі, який має дарвінізм упродовж останніх 150 років. Але нам не слід затамовувати подих в очікуванні успіху. Якщо навіть існують найпростіші форми життя, то окремим питанням буде те, чи можна спостерігати його еволюцію у чомусь, що ми могли б розпізнати як розумне чи складне.

Програма "*SETI@home*", до якої залучені мільйони людей, — чудовий зразок "громадської науки", про яку говорив *Барух Блумберг*. Можливо, одного дня ми зареєструємо сигнал з космосу, який матиме чітку штучну природу. І навіть, якщо б це був нудний список простих номерів із цифр ТТ, він би містив важливе послання, яке свідчило б, що поняття логіки і фізики (якщо не свідомості) не обмежені апаратурою у людських черепах. З іншого боку, можливо, такі пошуки закінчаться невдачею, оскільки, ймовірно, що не існує галактичної спільноти, до якої можна приєднатись. Складна земна біосфера може бути унікальною. Це може бути розчаруванням. Але потрібно було б врахувати і позитивний аспект цього, це дозволило б нам бути менш космічно скромними. Наша крихітна планета могла б тоді бути найважливішим місцем у Галактиці, можливо навіть "сіменем", від якого життя розповсюдилося би по всій Галактиці.

### 3. Зорі та галактики

А тепер декілька загальних думок щодо нашого космічного місця проживання і його виникнення. Наша Сонячна система сформувалась шляхом конденсації з хмари пилу, що повільно оберталась. Ми бачимо місця (наприклад, туманність у сузір'ї Орла), де все ще утворюються зорі (і, ймовірно, планети). І ми бачимо, як вмирають зорі, деякі як планетарні туманності — як наше Сонце через 6 мільярдів років, а інші — вибухово, як наднові. Наша галактика є типом екосистеми, у якій газ переробляється і повторно використовується наступними поколіннями зір. Цей процес генерує з первинного водню елементи періодичної таблиці. Увесь вуглець, кисень і залізо на Землі й у наших тілах є попелом давно померлих зір. Ми — "ядерні відходи" термоядерної сили, яка примушує зорі світитися. Можна зрозуміти, чому вуглець і кисень поширені, а золото й уран — рідкісні. Атоми, з яких ми створені, прийшли від багатьох різних зір, які існували багато років тому далеко від Чумацького шляху. Космос — частина нашого середовища у дуже інтимному сенсі. Ця концепція дуже приваблива.

Давайте розширимо наші горизонти далі. Ми досягли величезного прогресу у розумінні галактик. Ми знаємо, що крім спостережуваних у них зір і міжгалактичного газу, вони містять темну матерію, і що чорні діри сховані у їхніх центрах. Спостереження великомасштабних структур у Всесвіті не тільки дозволяють сформувати великі вибірки галактик для статистичного аналізу, а й дозволяють нам вивчати, в який спосіб галактики групуються у скупчення галактик. Ми можемо зондувати дуже далеко минуле. Дивовижні знімки, такі як знімок Області надглибокого огляду телескопа Габбла (Hubble Ultra-Deep Field), показують сотні тьмяних плям навіть на малому клаптику неба (меншому, ніж сота частина площі повного Місяця). Кожна тьмяна плямка світла насправді є цілою галактикою, яка





виглядає такою малою і слабкою через величезну віддаленість. Світло від цих далеких галактик вийшло близько 12 мільярдів років тому. Вони виглядають такими, якими були в епоху, близьку до часу їх утворення. Деякі з них складаються, в основному, з високотемпературного розсіяного газу, який ще не сконденсувався у зорі. Коли дивитись на туманність Андромеди, цікаво знати, чи є там інопланетяни, які також спостерігають за нами. Можливо, є. Але світло, яке ми бачимо від цих ультра-віддалених галактик, було випромінене до того, як у горнілі зір цієї галактики викувався кремній, вуглець і кисень, необхідний для утворення планет, тому в ті часи навіть незначного шансу на існування життя не було.

Найяскравішими об'єктами для спектроскопічних досліджень і найкращими сучасними зондами для дослідження Всесвіту на відстані червоного зміщення  $z = 6$ , є квазари. Їхнє існування чітко свідчить, що дуже багато чого трапилось до часу, коли вік нашого Всесвіту становив 0,1 від його теперішнього віку (від ред. — вік Всесвіту становить приблизно 13,7 млрд. років). Деякі великі галактики вже утворились і нагромадили в своїх центральних чорних дірах мільярди сонячних мас.

Яким чином ми можемо прозондувати за допомогою спостережень далеке минуле від значення червоного зміщення  $z = 6$  до появи прогнозованого "першого світла" при червоному зміщенні  $z = 20$  і більшому, й у такий спосіб, можливо, отримати незалежний ключ до розуміння раннього розвитку галактик? Є різноманітні плани на наступне десятиліття. Ми не очікуємо, що якісь зоряні системи з надвисокими червоними зміщеннями будуть такими ж великими і яскравими, як спостережувані галактики. Але є сподівання зареєструвати ці "субгалактики" за допомогою гравітаційних лінз природних телескопів — скупчень галактик вздовж лінії зору.

Окремі наднові можуть затьмарювати ці субгалактики, але для їх реєстрації при червоному зміщенні  $z = 10$  потрібно дочекатись появи космічного телескопу JWST (James Webb Space Telescope) чи наступного покоління наземних телескопів. Проте існує один тип об'єктів, набагато рідкісніших ніж наднові, які, напевно, досить яскраві, щоб бути виявленими на великих масштабах, — це гама-спалахи. Космічний апарат Swift уже зареєстрував два таких спалахи з червоним зміщенням близьким до  $z = 8$ : він, у принципі, міг би реєструвати спалахи з червоним зміщенням  $z > 10$ . Такі найвіддаленіші об'єкти могли б означати, що масивні

зорі справді сформувались у ранню епоху — гама-спалахи, можливо, сигналізують про формування "зародкових" чорних дір.

Якщо ми не можемо знайти дискретні сигнали на таких надвисоких червоних зміщеннях, то найбільша надія прозондувати перші "дії", коли зорі почали формуватися, може бути покладена на реєстрацію випромінювання нейтрального водню на довжині хвилі 21 см: це дуже слабкий сигнал порівняно з іншими радіофонами поблизу 0,01К, але оскільки нейтральний водень випромінює лінію, а не континуум, можна зробити 3-D картографування ("томографію") і дослідити частину газу, який залишається нейтральним, і зрозуміти, чому він концентрується та іонізується.

Що відбулось перед тим, як сформувались структури у Всесвіті? Навіть найобережніші серед нас упевнені, що наш Всесвіт розширюється унаслідок "Великого вибуху", що відбувся близько 14 мільярдів років тому. Найпереконливішим доказом цього є те, що весь космічний простір заповнений слабким мікрохвильовим випромінюванням із температурою 3К — розрідженим і охолодженим відблиском гарячого і щільного початку Всесвіту. Це підтвердилось понад 40 років тому. З того часу спостереження стали набагато кращими. Тепер ми маємо Стандартну космологічну модель, у якій ранній всесвіт характеризується декількома числами — відношенням баріонів/фотонів, відношенням густин темної матерії і баріонної і так далі.

Ця теорія перебувала у небезпеці. Не можна було передбачити, що з'явиться узгоджена модель. Ось, наприклад, п'ять обставин, які могли б мати місце і які б зробили не дійсною будь-яку модель "гарячого великого вибуху":

- (а) відкриття об'єкту з вмістом гелію нижче 23 відсотків;
- (б) мікрохвильове фонове випромінювання з інтенсивністю нижчою за інтенсивність випромінювання абсолютно чорного тіла, яка відповідає кривій для фонового випромінювання з більшою довжиною хвилі;
- (в) стійке нейтрино з масою у діапазоні  $100-10^6$  eV;
- (г) занадто велика кількість дейтерію, щоб передбачити КМФ (космічне мікрохвильове фонове) випромінювання навіть при мінімальній спостережуваній баріонній густині;
- (д) кутові флуктуації температури КМФ випромінювання з амплітудою занадто малою, щоб пояснити спостережувану сьогодні кластеризацію галактик.

Окреме зауваження щодо останнього пункту: найкращі дані про кутові флуктуації отримані за допомогою супутника WMAP (запущеного для досліджень анізотропії КМФ), який передає високоточні дані з точки Лагранжа, розташованої за Місяцем. Комп'ютерне моделювання Всесвіту, що розширюється, разом із даними про флуктуації КМФ (зі значенням червоного зміщення  $z = 1000$ ) як вхідними даними, дає картину сьогоденного всесвіту, що у кількісному вимірі добре узгоджується з реальними спостереженнями на всіх масштабах від карликових галактик до надскупчень галактик. Амплітуда флуктуацій КМФ характеризує величину "шершавості" метрики раннього всесвіту і визначає масштаб її сучасної кластеризації. Він вимірюється безрозмірним числом  $Q$  зі значенням близько  $10^{-5}$  ( $1/100000$ ).

#### 4. Космологія і припущення

Ми можемо поділити космічну історію на три частини. Першу трильйонну частину секунди не може відтворити навіть Великий адронний колайдер (ЛHC)... Це середовище для інтелектуальних вправ спеціалістів із теорії струн та інфляційних космологів. Проте фаза від мілісекунд до епохи рекомбінації (упродовж якої утворились легкі елементи і спектр випромінювання) заслуговує того, щоб сприйматись настільки ж серйозно, як і те, що геофізики розповідають нам про ранню історію нашої Землі. Однак, у певну еру після

епохи рекомбінацій сконденсувались структури, які еволюціонували у складні скупчення галактик, зір і планет, які ми бачимо навколо нас. Ці "нешодавні" фази космічної еволюції схожі на інші науки про навколишнє середовище — базові закони відомі, але присутня складна нелінійність і ефект зворотного зв'язку, як у випадку з прогнозуванням погоди. Ми хотіли б зрозуміти, чому всесвіт було "створено" з його особливою геометрією, флуктуаціями і сумішшю інгредієнтів. Відповідь, імовірно, лежить якраз на самому початку — можливо у першій  $10^{-44}$  с.

**Хотів би ризикнути і висловити декілька зауважень — хоча слід наперед "офіційно попередити", що це припущення.**

Перше, ми можемо запитати: наскільки всесвіт великий? Він більший від того, що ми спостерігаємо? Ми бачимо тільки обмежений його об'єм — обмежене число галактик. Це істотно тому, що існує горизонт, "оболонка" навколо нас, що окреслює відстань, яку світло могло пройти від початку великого вибуху. Але ця оболонка має не більше фізичного значення, ніж коло, яке окреслює наш горизонт, коли ви перебуваєте посередині океану. Ми можемо очікувати на те, що за горизонтом перебуває набагато більше галактик.

Наш всесвіт, здається, приречений розширюватись завжди, а не замикається на самому собі через декілька десятків мільярдів років. Той факт, що відсутній помітний градієнт через область у  $20+$  мільярдів світлових років, яку ми спостерігаємо, означає (за аналогією з океаном), що ніде немає цього "краю". Об'єм простору-часу в межах області спостережень, доступній нашим телескопам — що астрономами традиційно називають "всесвітом" — може бути критичною частиною наслідку нашого великого вибуху. Простір, дуже ймовірно, простягається набагато далі. Дійсно, простір міг би розповсюджуватися вічно — більше схожий на безкінечну "плоску землю", ніж на обмежену круглу. Наш всесвіт міг би бути, в принципі, настільки величезним, щоб дати притулок безмежній кількості дублікатів самого себе, беручи всі варіанти. У цьому всесвіті було б достатньо місця, щоб вичерпати всі можливості — абсолютно все, що могло би відбутись чи десь би відбулось. Щоразу коли ми робимо вибір, реплікування нас самих (поки ця точка залишається невидимою для нас) захоплює іншу частину.

Але це не все. "Наш" великий вибух може бути не єдиним: однією з альтернатив є бран-світи — багато всесвітів, занурених у простір більшої розмірності (the 'bulk'). Блощини, які повзають по великому листку паперу — їх дворовірному всесвіті — можуть не знати про існування інших блощин на іншому відокремленому листку паперу. Таким же чином ми могли б не знати про наші копії у іншому всесвіті, віддаленому тільки на міліметр від нашого. Якби цей міліметр вимірювався у четвертому просторовому вимірі, а ми були ув'язнені тільки у трьох. Іншою альтернативою є "вічна інфляція". Те, що ми традиційно звано "всесвіт", могло би бути просто латкою простору-часу на "безкрайньому космічному архіпелазі". Ця дуже розширена космічна перспектива пересуває коперниківський космологічний принцип на одну сходинку далі. Щоб поставити все це на тверду основу, нам знадобиться єдина теорія усіх сил.

Фізичні закони і сталі здаються однаковими, де б ми не спостерігали, — навіть у найвіддаленіших галактиках. Але спостережувана частина, яку ми назвали "всесвіт", може бути якраз найдрібнішою частиною реальної.

400 років тому *Кеплер* думав, що Земля унікальна, а її орбіта є коловою, пов'язаною з орбітами інших планет чудовими математичними пропорціями. Тепер ми розуміємо, що навіть у межах нашої Галактики існують мільярди зір із планетними системами. Земна орбіта особлива лише тим,

що потрапляє в діапазон радіусів і ексцентриситетів, поєднаних з існуванням життя.

Можливо, ми повинні поширити аналогічну концепцію на грандіозніші масштаби. Наш Великий вибух, можливо, не унікальний, не унікальніший від планетних систем. Його параметри можуть бути "природними випадковостями", як елементи земної орбіти. На цій розширеній космічній перспективі те, що ми традиційно називаємо фундаментальними константами і законами, може бути просто місцевими правилами внутрішнього розпорядку нашої космічної латки. Вони можуть впливати з деякої загальної теорії, яка керує ансамблем, але не бути однозначно встановленими тією теорією. Сподівання на точні пояснення у космології можуть бути такими ж марними, як і нумерологічні пошуки *Кеплера*. Наш всесвіт не є ні найточнішим, ні найпростішим. Він має, швидше, випадкову уявну суміш інгредієнтів в діапазоні параметрів, які дозволяють нам існувати.

Ми не знаємо, чи правильні ці теорії. Але вони належать до уможливної науки, а не метафізики. Що могло б дати нам упевненість в існуванні невидимих областей? Відповідь зрозуміла — ми повіримо в них, якщо вони будуть передбачені теорією, яка є достовірною тому, що визнає речі, які ми можемо бачити. Ми віримо в кварки і в те, що загальна теорія відносності говорить про внутрішню частину чорних дір тому, що наші висновки базуються на теоріях, які підтверджені іншими способами. Викликом для фізиків 21-го століття буде встановити, чи було багато "великих вибухів", чи лише один — і (якщо їх багато) наскільки різноманітними вони можуть бути.

## 5. Висновки

Прогрес у спостереженнях вирішує старі суперечки і розширює консенсус. Проте ці успіхи висвітлили нові питання, які раніше не могли навіть і виникати. Ця стаття стосувалась деяких уможлижних сфер: планети земного типу, життя, шаруваті границі в космології. Я вирішив зупинитись на цих темах тому, що вони є такими, де провал між загальною і спеціальною релятивістською теорією є найменшим — ми всі збентежені. У найближчі десятиліття постануть три типи вирішальних завдань.

Першим завданням є пошук розуміння, у глибинному сенсі, чому наш всесвіт є саме таким. Воно зачіпає фундаментальні питання, що, можливо, вимагатимуть великих концептуальних проривів у фізиці. Але є ще й друга мета: яка, можливо, не потребуватиме нової фізики, але яка є настільки ж складною, як і будь-яка природнична наука: Як, з простого початку, який описується декількома параметрами, наш всесвіт перетворився на космічне природне середовище, яке ми бачимо навколо нас? Ми можемо встановити ключові стадії виникнення структурної складності: перші частинки (протони і нейтрони); перші зорі і галактики; синтез елементів періодичної таблиці у зорях; формування планет навколо зір пізнішої генерації. Це відкрило шлях, тут на Землі, для формування біосфери, і до появи мізків, здатних розмірковувати над своїм походженням.

І є ще третє запитання, найзахопливіше для більшості з нас (таким воно було і для *Артура К. Кларка*): **чи розумне життя повторюється періодично, чи розумне життя на Землі унікальне?** Перший варіант робить всесвіт цікавішим, але останній піднімає нашу космічну самооцінку.

Якою б не була відповідь, **розмірковувати над тим, наскільки багато з того, що зараз є науковою фантастикою, стане науковим фактом, є захопливим заняттям.**

Переклад з англійської — Людмила Костенко