

# ТОНКА НАСТРОЙКА ВСЕСВІТУ

Вінницький національний технічний університет

## Анотація

Досліджено основні позиції гіпотези тонкої настройки Всесвіту та основні напрями її розгляду. Пояснено важливість даної гіпотези для розуміння механізмів функціонування Всесвіту.

**Ключові слова:** мультивсесвіт, тонка настройка, космологічна стала, гравітаційна стала, сильна ядерна взаємодія, структура Всесвіту, антропний принцип, єдина фундаментальна теорія.

## Abstract

The main positions of the fine-tuning hypothesis of the Universe and the principal approaches to its interpretation have been examined. The importance of this hypothesis for understanding the mechanisms underlying the functioning of the Universe has been explained.

**Keywords:** multiverse, fine-tuning, cosmological constant, gravitational constant, strong nuclear interaction, structure of the Universe, anthropic principle, unified fundamental theory.

## Вступ

Тонка настройка Всесвіту — це гіпотеза, згідно з якою фундаментальні фізичні константи та початкові умови космологічної еволюції мають дуже вузькі значення, за яких можливе існування складної матерії, зірок, планет і життя. Навіть незначні зміни цих параметрів могли б призвести до радикально іншої картини Всесвіту, у якій не відбувалося б формування стабільних атомів, галактик або інших складних структур.

Ідея про особливу роль фундаментальних законів природи неодноразово привертала увагу фізиків і філософів. Зокрема, Альберт Ейнштейн зауважив: «Мене справді цікавить, чи мав Бог якийсь вибір при створенні світу». У цьому вислові слово «Бог» використовується радше як метафора, що позначає глибинні закони, які визначають структуру реальності [1].

## Результати дослідження

Гіпотеза тонкої настройки стверджує, що фундаментальні фізичні константи та параметри космологічної еволюції — такі як швидкість розширення Всесвіту, значення космологічної сталої, маси елементарних частинок або інтенсивність фундаментальних взаємодій — лежать у надзвичайно вузькому діапазоні значень. Саме в межах цього діапазону стає можливим формування зірок, хімічних елементів, складних структур і, зрештою, життя.

Таблиця 1 — Фундаментальні константи у контексті гіпотези тонкої настройки

Величина	Значення
Гравітаційна стала (G)	$6,67430 \times 10^{-11}$ ( $\text{м}^3 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^{-2}$ )
Швидкість світла у вакуумі (c)	299 792 458 (м/с)
Стала Планка (h)	$6,62607015 \times 10^{-34}$ (Дж·с)
Елементарний заряд (e)	$1,602176634 \times 10^{-19}$ (Кл)
Космологічна стала ( $\Lambda$ )	$\approx 1,1 \times 10^{-52}$ ( $\text{м}^{-2}$ )
Стала тонкої структури ( $\alpha$ )	$\approx 1/137,036$ (безрозмірна)
Маса протона ( $m_p$ )	$1,67262192369 \times 10^{-27}$ (кг)
Маса електрона ( $m_e$ )	$9,1093837015 \times 10^{-31}$ (кг)

Важливим є не лише абсолютне значення окремих констант, але й їх співвідношення. Навіть незначні варіації деяких параметрів можуть суттєво змінити перебіг фізичних процесів у Всесвіті. Наприклад, зміни сили сильної ядерної або електромагнітної взаємодії на рівні кількох відсотків здатні вплинути на стабільність атомних ядер і процеси нуклеосинтезу у зірках. У випадку космологічної сталої ситуація ще більш показова: навіть зміна на один-два порядки величини могла б суттєво змінити процес формування галактик [2]. Водночас існує значна розбіжність між спостережуваним значенням космологічної сталої та її теоретичними оцінками, отриманими в межах квантової теорії поля. Ця різниця сягає приблизно  $10^{120}$  порядків і становить одну з найбільших невирішених проблем сучасної фізики [1].

Існує три основні способи трактування тонкої настройки Всесвіту:

1) Дизайн. Згідно з цією інтерпретацією, значення фундаментальних констант були встановлені певним Розумом таким чином, щоб зробити можливим існування структурованого Всесвіту. У такому підході припускається існування Творця або певного принципу цілеспрямованого впорядкування реальності.

2) Теорія мультивсесвіту. У межах цього підходу наш Всесвіт розглядається як один із великої кількості можливих всесвітів, кожен з яких може мати різні значення фундаментальних параметрів. Більшість таких всесвітів можуть бути несприятливими для формування складних структур. У цьому контексті часто використовується антропний принцип, сформульований Бренденом Картером. Згідно з ним, ми спостерігаємо саме такий Всесвіт, оскільки лише в ньому можливе існування спостерігачів [4].

3) Фізична необхідність (гіпотеза глибшого закону). Третя інтерпретація припускає, що значення фундаментальних констант не є випадковими і не потребують спеціального пояснення. Згідно з цією позицією, вони можуть визначатися ще більш фундаментальною фізичною теорією, яка однозначно фіксує їхні значення. У такому випадку так звана «тонка настройка» є лише наслідком глибших законів природи, які ми поки що повністю не розуміємо [4].

Для кращого розуміння можна провести таку аналогію. Уявімо, що сліпий лучник випадково вистрілив у стіну, а вже після цього навколо отвору від стріли намалювали мішень так, щоб стріла опинилася точно в центрі. У такій ситуації створюється враження «ідеального влучання», хоча насправді мішень була визначена вже після пострілу. У цій аналогії стріла відповідає фундаментальному фізичному закону, а мішень — значенням констант, які впливають із цього закону [1].

Тепер змінимо умови. Мішень уже визначена наперед і має надзвичайно малий розмір (або ж лучник перебуває на надзвичайно великій відстані), а можливість здійснити постріл надається лише один раз. Лучник стріляє — і влучає точно в центр. За таких умов природно постає питання: «Чи справді лучник був сліпим?» У цій аналогії мішень відповідає вузькому діапазону значень фундаментальних констант, які допускають існування складних структур, а постріл — фактичному стану нашого Всесвіту. Чим меншою є «мішень» і чим меншою є ймовірність випадкового влучання, тим сильніше інтуїтивне відчуття, що постріл не був випадковим [1].

Щоб застосувати цю аналогію до концепції мультивсесвіту з антропним принципом, слід змінити умови. Уявімо, що лучник має нескінченну кількість стріл і здійснює безліч пострілів. Ми не знаємо, чи було влучання, доки судді не оголосять результат. У цій інтерпретації нескінченна кількість пострілів відповідає множині паралельних Всесвітів із різними значеннями фундаментальних параметрів. Судді ж символізують спостерігачів: ми можемо зафіксувати лише той «постріл», у якому сталося влучання, тобто той Всесвіт, у якому можливе існування спостерігачів [1].

Кожна з наведених інтерпретацій стикається з певними труднощами. Інтерпретація дизайну часто критикується за те, що вона виходить за межі емпіричної науки і належить радше до філософії або теології [4], хоча й є найбільш послідовною. Теорія мультивсесвіту також викликає дискусії, оскільки на сьогодні не існує прямих емпіричних доказів існування інших всесвітів. Крім того, антропний принцип радше описує умови спостереження, ніж пояснює причину самої тонкої настройки. Гіпотеза фізичної необхідності, своєю чергою, передбачає існування глибшої фундаментальної теорії, яка поки що не сформульована і не підтверджена експериментально [2].

## Висновки

Всесвіт є надзвичайно складною та ще не повністю дослідженою системою. Проте очевидно, що він не є хаотичним: його структура визначається законами природи та фундаментальними константами, які роблять можливим існування галактик, зір, планет і навіть життя. Жодне з

розглянутих пояснень тонкої настройки поки що не може вважатися остаточним. Водночас ці підходи не обов'язково є взаємовиключними: їх можна розглядати як різні рівні інтерпретації однієї і тієї ж проблеми. Оскільки всі ці гіпотези стосуються умов існування самого Всесвіту як цілого, дослідник неминуче стикається з певними епістемологічними обмеженнями. Спостерігач перебуває всередині системи, яку він намагається пояснити, тому повне й остаточне розв'язання цієї проблеми може вимагати своєрідної «метапозиції» поза межами самого Всесвіту [3]. Подібну ідею описував Томас Нагель у концепції «The view from nowhere» — гіпотетичної точки зору, що передбачає всезнання, позачасовість і незалежність від досліджуваної реальності, тобто атрибути, які приписують Божественній природі. Це підкреслює, наскільки складною та фундаментальною є проблема тонкого налаштування Всесвіту.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Barrow J. D., Tipler F. J. *The Anthropic Cosmological Principle* / J. D. Barrow, F. J. Tipler. — Oxford : Oxford University Press, 1986. — 706 p.
2. Rees M. *Just Six Numbers: The Deep Forces That Shape the Universe* / M. Rees. — New York : Basic Books, 2000. — 208 p.
3. Nagel T. *The View from Nowhere* / T. Nagel. — New York : Oxford University Press, 1986. — 244 p.
4. Hawking S., Mlodinow L. *The Grand Design* / S. Hawking, L. Mlodinow. — New York : Bantam Books, 2010. — 208 p.

Хмільовський Владислав Борисович — студент групи 4КН-256, факультет інтелектуальних інноваційних технологій та автоматизації, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: vlad.hmilovsky@gmail.com.

Науковий керівник: Мартинюк Володимир Валерійович — доцент кафедри загальної фізики, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Vladislav B. Khmilovskiy — student of group 4KN-25b, Faculty of Intelligent Innovative Technologies and Automation, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email: vlad.hmilovsky@gmail.com.  
Supervisor: Volodymyr V. Martyniuk — Associate Professor of the Department of General Physics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.