

УДК 530.1:53.01:530.12  
А56



Оригінальна назва твору:  
THE WORLD ACCORDING TO PHYSICS

*Усі права збережено.*

*Жодна частина цієї книжки не може бути відтворена або передана в будь-якій формі або будь-якими засобами, електронними чи механічними, включно з фотокопією, записом чи будь-якою системою зберігання та пошуку інформації, без письмового дозволу власників авторських прав.*

#### Аль-Халілі Джим

А56 Світ очима фізика / пер. з англ. С. Михаць. — Харків : ВД «Фабула», 2022. — 192 с.

ISBN 978-617-522-052-8

Висвітлюючи найглибші ідеї, відкриті сучасною фізикою, квантовий фізик, автор бестселерів New York Times і ведучий BBC Джим Аль-Халілі пропонує всім нам зрозуміти, що ця надзвичайно важлива наука розповідає нам про Всесвіт і природу самої реальності.

Аль-Халілі починає з уведення фундаментальних концепцій простору, часу, енергії та матерії, а потім описує три стовпи сучасної фізики — квантову теорію, теорію відносності та термодинаміку — демонструючи, як усі три повинні об'єднатися, якщо ми колись захочемо мати повне розуміння реальності. Використовуючи чудові приклади та аналогії, що спонукають до роздумів, автор висвітлює фізику екстремальних космічних і квантових масштабів, спекулятивні кордони галузі, а також фізику, яка лежить в основі нашого повсякденного досвіду й технологій, підводячи читача до найпопулярніших ідей цієї природничої науки. Фізика змальовується як безстрашний пошук людиною ще більш основоположних принципів, які точно пояснюють світ природи, що його ми бачимо навколо, котрий керується основними цінностями, як-от чесність і сумнів.

Роблячи доступними навіть найзагадковіші наукові ідеї, ця глибоко прониклива книжка пояснює, чому фізика важлива для кожного, і закликає всіх долучитися до захопливого пошуку істини у світі навколо нас.

УДК 530.1:53.01:530.12

Copyright © 2020 by Jim Al-Khalili  
© С. Михаць, переклад з англ., 2021  
© ВД «Фабула», макет, 2022

ISBN 978-617-522-052-8

## Відгуки

Фізичний світ дивний і сповнений несподіванок. І все ж, як показує Джим Аль-Халілі, він не є геть незрозумілим. Простий, глибокий і точний виклад основних принципів робить знання, що розширюють розуміння, доступними для широкого кола читачів.

*Френк Вільчек, лауреат Нобелівської премії з фізики 2004 року, автор книжки A Beautiful Question*

Як же багато науки запаковано в такий крихітний обсяг! Джиму Аль-Халілі вдалося дати доступний огляд величезної кількості сучасної фізики й зробити це не поспіхом. Його книжка сподобається кожному, хто хоче побачити, як сучасні фізики думають про деякі з найскладніших проблем у Всесвіті.

*Шон Керролл, професор факультету фізики  
Каліфорнійського технологічного інституту,  
автор книжки Something Deeply Hidden: Quantum Worlds  
and the Emergence of Spacetime*

Книжку «Світ очима фізика», написано чітко й привабливо навіть для читачів, які спочатку не вважають себе зацікавленими в науці,— її повинні прочитати й оцінити багато людей.

*Джоселін Белл Бернелл, Оксфордський університет*

Ясний, простий і захопливий опис того, що фізика розповідає нам про Всесвіт і... головне, які докази підтримують цей погляд одного з найбільш талановитих, натхненних та інформативних популяризаторів науки. Тріумф!

*Іен Стюарт, автор книжки Do Dice Play God?*

Ця книжка є вичерпним викладом сучасної фізики, сплітаючи гобелен, що поєднує нові та знайомі теми. Аль-Халілі має виразно легкий голос, який звучить скрізь і працює неймовірно добре.

*Педро Г. Феррейра, автор книжки The Perfect Theory:  
A Century of Geniuses and the Battle over General Relativity*

## Зміст

Передмова	5
Розділ 1	
Блаженство розуміння	11
Розділ 2	
Масштаб	24
Розділ 3	
Простір і час	40
Розділ 4	
Енергія та матерія	57
Розділ 5	
Квантовий світ	72
Розділ 6	
Термодинаміка та стріла часу	89
Розділ 7	
Об'єднання	105
Розділ 8	
Майбутнє фізики	119
Розділ 9	
Корисність фізики	144
Розділ 10	
Мислити як фізик	156
Подяки	169
Подальше читання	172
Алфавітний покажчик	178

## Передмова

Ця книжка — ода фізиці. Уперше я закохався у фізику, ще коли був підлітком. Зізнаюся, це сталося після того, як я збагнув, що маю до неї хист. Фізика видавалася захопливою сумішшю з розв'язання головокруток і здорового глузду, а мені подобалося розважатися рівняннями, маніпулювати алгебричними символами та підставляти числа так, щоби вони розкривали таємниці природи. Але водночас я збагнув, що коли хочу отримати переконливі відповіді на багато глибоких запитань про природу Всесвіту й сенс існування, які тоді вирували в моєму підлітковому розумі, то фізика — це саме той предмет, який я повинен вивчати. Я хотів знати відповіді на безліч питань. З чого ми зроблені? Звідки ми взялися? Чи має Всесвіт початок або кінець? Він обмежений у своєму обширі чи простягається до нескінченності? Що таке ця квантова механіка, про яку мені розповідав батько? Якою є природа часу? Мої пошуки відповідей призвели до того, що я все життя вивчаю фізику. На одні запитання я вже маю відповіді, на інші шукаю дотепер.

Щоби знайти відповіді на загадки життя, деякі люди звертаються до релігії або якоїсь іншої ідеології чи системи вірувань. Однак особисто мені ніщо не може замінити ретельну побудову гіпотез, їхню перевірку та формулювання висновків на підставі

фактів про світ — тобто примітних ознак наукового методу. Здобуєте завдяки науці (і фізиці зокрема) розуміння того, як улаштований світ і як він функціонує,— це, на мій погляд, не просто один із багатьох однаково справедливих способів досягнення «істини» про реальність. Це наш *єдиний* надійний спосіб.

Безсумнівно, мало хто полюбив фізику так, як я. Можливо, більшість людей були байдужими до вивчення цієї дисципліни, бо вирішили (чи їм розповідали), що це важкий — або й навіть дивакуватий — предмет. І, певна річ, багато в кого розболиться голова від близького знайомства з тонкощами квантової механіки. Однак дива нашого Всесвіту можна й варто оцінити кожному, а здобуття базового розуміння не вимагає присвяти навчання цілого життя. У цій книжці я хочу описати, чому фізика така прекрасна, чому вона така фундаментальна наука й така важлива для нашого розуміння світу. Від грандіозного розмаху та сфер зацікавлення сучасної фізики перехоплює дух. Адже тепер ми знаємо, з чого складається (майже) все видиме у світі та як воно утримується разом. Можемо простежити еволюцію всього Всесвіту до частки секунди після народження самих простору й часу. Завдяки нашому знанню законів природи ми розробили й далі розвиваємо технології, які змінюють наше життя. Усе це неймовірно приголомшує. Пишучи ці рядки, я досі ловлю себе на думці: як можна *не* любити фізики?

Ця книжка покликана слугувати вступом до деяких найглибших і найфундаментальніших ідей у фізиці. Але я висвітлювати му не лише ті теми, з якими ви, мабуть, стикались у школі. Для деяких читачів ця книжка може стати першим запрошенням до світу фізики — тим запрошенням, яке спонукатиме вас дізнатися про неї більше, а вірогідно, навіть перетворити своє життя на подорож із вивчення й відкриття її таємниць, як це зробив я. Для інших, у кого, можливо, склалося не найліпше перше враження про фізику, вона може стати приязнішим повторним знайомством. У багатьох ця книжка може викликати подив після усвідомлення того, як далеко людство зайшло у своєму прагненні зрозуміти.

Щоби донести до вас практичні знання про те, що фізика розповідає про природу нашого світу, я вибрав низку найважливіших понять сучасної фізики та спробував показати, як вони пов'язані між собою. Ми розглянемо широкий спектр цього концептуального ландшафту — від фізики найбільших космічних масштабів до фізики найменшого квантового рівня; від прагнення фізиків уніфікувати закони природи до їхнього пошуку найпростіших фізичних принципів, що керують життям; від дискусійних сфер теоретичних досліджень до фізики, що лежить в основі нашого повсякденного досвіду й технологій. Я також запропоную читачам деякі нові концепції: ідеї, які ми, фізики, навчилися приймати, але не дуже добре донесли до тих, хто опинився за межами наших найпотаємніших кіл експертів. Наприклад, на субатомному рівні окремі частинки миттєво взаємодіють одна з одною, попри значну відстань між ними, що виходить за межі здорового глузду. Ця властивість, яка називається нелокальність, може зрештою змусити переглянути всі наші уявлення про структуру самого простору. Однак, на жаль, багато нефізиків — і навіть деякі фізики — неправильно її розуміють або тлумачать.

Критика (зазвичай з боку фізиків-теоретиків) багатьох науково-популярних книжок, присвячених фундаментальним поняттям у фізиці, полягає в тому, що видання не завжди допомагають невтаємниченим зрозуміти, що насправді означають ці поняття. Як на мене, це відбувається тому, що ті фізики, які справді розуміють певні концепції, пишуть наукові праці й пропонують нові теорії, не обов'язково володіють умінням доступно пояснювати власні ідеї нефізикам. Зі свого боку, ті, хто мають більше досвіду й успіху в роз'ясненні своєї роботи широкому загалу, можуть не розуміти деяких концепцій досить глибоко, щоби виходити за межі занадто простих аналогій. Навіть якщо хтось розуміє фізику й може успішно (я сподіваюся) спілкуватися з нефізиками, то не так уже й легко пояснити, що таке калібрувальна інваріантність, дуальність, хаотична інфляція, голографічний принцип, конформні теорії поля, антидесіттерівський простір або вакуумна енергія в такий спосіб, щоби передати глибинну

сутність фізики, не залучаючи складної математики. Я доклав усіх зусиль, але, можливо, знайдеться кілька читачів, які вважають, що я міг би постаратися ще ліпше. І, звісно, вони матимуть рацію.

Проте, якщо ви захочете глибше зануритись у певні теми, яких я торкаюся лише поверхово, то знайдеться чимало чудових книжок інших авторів. Наприкінці книжки я наведу ті з них, які, на мою думку, будуть для вас найлегшими для читання й найінформативнішими. Багато книжок із цього списку описують шлях наукового прогресу — як фізика розвивалася протягом тисячоліть ще з часів стародавніх греків, як робилися відкриття, як висувалися й відкидалися теорії та гіпотези. Ці книжки часто фокусуються на революціях, які перевернули попередні уявлення про Всесвіт, і описують ключові постаті тих історичних подій. Однак у цій короткій книжці я не озиратимуся на той довгий шлях, який ми подолали; і не надто багато говоритиму про те, як далеко нам ще належить пройти (адже я цього не знаю, а також підозрюю, що це й досі довгий шлях), хоча у Розділі 8 я зосереджуся на тому, чого, як нам *відомо*, ми не знаємо.

І я не обстоюю жодної конкретної теорії. Наприклад, коли доходить до примирення квантової механіки із загальною теорією відносності (Святим Граалем сучасної теоретичної фізики), я не пристаю до жодного з двох основних таборів, які працюють над досягненням цієї мети. Я не прихильник теорії струн і не шанувальник петлевої квантової гравітації<sup>1</sup>, адже жодна з цих теорій не стосується моєї конкретної спеціалізації. Тож коли справа доходить до інтерпретації сенсу квантової механіки, то я ні «копенгагеніст», ні ентузіаст «багатосвітової інтерпретації»<sup>2</sup>. Але це не завадить мені час від часу полемізувати з цих питань.

Також я намагатимуся не надто заглиблюватись у філософські чи метафізичні роздуми, хоча обговорення деяких найглибших передових ідей фізики — природи простору й часу, різних інтерпретацій квантової механіки чи навіть значення самої реально-

сті — спокушатиме до цього. Я не хочу цим сказати, що фізика не потребує філософії. Дістаючи уявлення про те, як філософія проникає в мій предмет на найфундаментальнішому рівні, ви, мабуть, здивуєтеся, довідавшись, що фізики досі навіть не можуть домовитися стосовно того, у чому полягає завдання цієї науки. Чи вона має на меті з'ясувати, який світ *насправді* (чи, як уважав Айнштайн, досягти якоїсь остаточної істини, що чекає, поки її відкриють), або будувати моделі світу й пропонувати нашу найліпшу версію того, *щоб ми можемо сказати* про реальність, ту реальність, якої ми по-справжньому можемо ніколи й не пізнати? У цьому питанні я на боці Айнштайна.

Простіше кажучи, я вважаю, що фізика забезпечує нас інструментами для розуміння всього Всесвіту. Вивчення фізики — це пошук пояснень, але, щоб удатися до такого пошуку, треба спершу поставити правильні запитання, а в цьому філософам нема рівних.

Отже, ми почнемо нашу подорож із належним і скромним умонастроєм. Таким, якщо бути чесними, що властивий усім нам і в юному віці, і в дорослому, поколінням минулим і прийдешнім, — умонастроєм незнання. Розмірковуючи над тим, чого ми ще не знаємо, ми можемо водночас міркувати над тим, як нам найліпше це з'ясувати. Саме численні запитання, що ми їх ставили протягом історії людства, і надавали нам дедалі точнішу картину того світу, який ми знаємо й любимо.

Отже, ось світ очима фізика.

<sup>1</sup> Звісно, я поясню суть цих ідей пізніше.

<sup>2</sup> Знову ж таки, поясню пізніше.

## Розділ 1

---

# Блаженство розуміння

**Х**оча легенди й перекази завжди будуть життєво важливою частиною людської культури (і навіть науки), а наше життя збіднішає без них, однак на цей час сучасна наука замінила багато стародавніх мітологій та супутніх забобонів. Гарний приклад того, як ми демістифікували наш підхід до розуміння світу — це міти про його створення. Уже на світанку своєї історії людство вигадувало легенди про походження нашого світу й божеств, які зіграли важливу роль у його створенні. Починаючи від шумерського бога Ану, чи Небесного Батька, до грецьких мітів про Гею, породжену з Хаосу, і мітів про походження з авраамічних релігій, які досі вважають буквальними істинами в багатьох суспільствах у всьому світі. Великій кількості ненауковців може здаватися, ніби наші сучасні космологічні теорії про походження Всесвіту насправді нічим не ліпші за релігійні мітології, котрі вони замінили, — і якщо подивитися на деякі з найдискусійніших ідей сучасної теоретичної фізики, то можна погодитися, що ті, хто так уважає, мають рацію. Але завдяки раціональному аналізу та ретельному спостереженню — кропіткому процесові перевірки й накопичення наукових даних, а не сліпому прийняттю історій та пояснень — ми тепер можемо з високим ступенем упевне-

ності стверджувати, що знаємо досить багато про наш Усесвіт. Тепер ми також можемо впевнено сказати, що решту таємниць не варто приписувати чомусь надприродному. Це лише ті явища, які нам ще належить збагнути — і які ми колись сподіваємося збагнути за допомогою розуму, раціонального дослідження і, власне... фізики.

Усупереч твердженням деяких людей, науковий метод — це не просто ще один спосіб поглянути на світ, *не* просто ще одна культурна ідеологія чи система вірувань. Це спосіб дізнаватися про природу шляхом проб і помилок, експериментів і спостережень; дізнаватися завдяки готовності замінити ті вчення, які виявляються неправильними чи неповними, ліпшими теоріями; а ще дізнаватися завдяки спогляданню закономірностей у природі й милуванню красою математичних рівнянь, які описують ці закономірності. Увесь цей час ми поглиблюємо наше розуміння й наближаємося до цієї «істини» — того, яким є світ *насправді*.

Не можна заперечувати, що науковці мають ті самі мрії та заботи, що й усі інші, і дотримуються поглядів, які не завжди можуть бути повністю об'єктивними. Те, що одна група науковців називає «консенсус», інша трактує як «догму». Те, що одне покоління вважає встановленим фактом, наступна генерація представляє наївним нерозумінням. Точнісінько так само, як і в релігії, політиці чи спорті, у науці завжди вирували суперечки. Часто є небезпека того, що, поки наукове питання залишається нерозв'язаним або принаймні відкритим для обґрунтованих сумнівів, позиції кожної сторони дискусії можуть стати вкоріненими ідеологіями. Кожен погляд на проблему може бути багатозначним і складним, а його прихильники — такими ж непохитними, як і в будь-якій іншій ідеологічній дискусії. І точно так само, як зі ставленням суспільства до релігії, політики, культури, питань раси чи статі, нам іноді потрібно, щоби прийшло нове покоління й скинуло кайдани минулого, просунувши дебати вперед.

Утім наука має принципову відмінність від інших галузей. Одне-однісіньке ретельне спостереження чи експериментальний

результат можуть зробити надзвичайно поширені наукові погляди чи багатолітню теорію застарілими та замінити їх новим світоглядом. Це значить, що ті теорії та пояснення природних явищ, котрі витримали випробування часом, є такими, яким ми довіряємо найбільше й у яких ми найбільше впевнені. Земля обертається навколо Сонця, а не навпаки; Усесвіт розширюється, а не залишається статичним; швидкість світла у вакуумі завжди вимірюється однаково незалежно від того, як швидко рухається вимірювач цієї швидкості тощо. Коли відбувається нове й важливе наукове відкриття, яке змінює наш погляд на світ, не всі науковці відразу приймають його, але це *їхня* проблема; науковий прогрес неблаганний, що, до речі, *завжди* добре, бо знання й освіченість завжди ліпші, ніж невігластво. Ми починаємо з незнання, але прагнемо з'ясувати... і, хоча можемо сперечатися на цьому шляху, ми не можемо ігнорувати своїх знахідок. Коли йдеться про наше наукове розуміння того, як улаштований світ, твердження на кшталт «незнання — це благодать» виявляється повною нісенітницею. Як одного разу сказав Дуглас Адамс: «Я завжди виберу блаженство розуміння, а не блаженство незнання»<sup>1</sup>.

## Чого ми не знаємо

Справедливо також і те, що ми постійно з'ясовуємо, як багато ще є такого, чого ми досі не знаємо. Зростання нашого розуміння породжує зростання розуміння нашого незнання! У певному сенсі, як я поясню, це та ситуація, яку ми на цю мить маємо у фізиці. Ми опинились у такому історичному періоді, коли багато фізиків убачають якщо не кризу в цій дисципліні, то принаймні закипання. Таке відчуття, ніби щось має статися. Кілька десятиліть тому видатні фізики, як-от Стівен Гокінг, запитували:

<sup>1</sup> Дуглас Адамс. «Лосось сумнівів: автостопом по галактиці востаннє» (Douglas Adams, *The Salmon of Doubt: Hitchhiking the Galaxy One Last Time*. New York: Harmony, 2002), с. 99.

«Невже ми спостерігаємо кінець теоретичної фізики?»<sup>1</sup>, адже потенційно «теорія всього» не за горами. І начебто залишалося лише розставити кілька крапок над «і». Однак вони помилялися, і не вперше. Подібні настрої панували серед фізиків наприкінці ХІХ століття; а потім стався вибух нових відкриттів (електрон, радіоактивність і рентгенівські промені), які не можна було пояснити відомою на той час фізикою і які поклали початок народженню фізики сучасної. Сьогодні багато фізиків уважають, наче ми можемо опинитися на порозі ще однієї наукової революції, такої ж великої, як та, що сталася століття тому з народженням теорії відносності та квантової механіки. Я не стверджую, ніби ми відкриємо якоесь нове фундаментальне явище, як-от рентгенівські промені чи радіоактивність, але, можливо, нам знадобиться ще один Айнштайн, щоби вийти з теперішнього глухого кута.

Великий гадронний колайдер ще не цілком скористався своїм успіхом 2012 року, коли було виявлено Гігсів бозон і в такий спосіб підтверджено існування Гігсового поля (про яке я розповім пізніше). Багато фізиків сподівалися, що до цього часу ми відкриємо інші нові частинки, які допоможуть розгадати давні таємниці. Утім ми дотепер не розуміємо природи темної матерії, що втримує галактики разом, або темної енергії, що розриває Всесвіт на частини. Ми не маємо відповідей на фундаментальні питання. Чому матерії більше, ніж антиматерії? Чому властивості Всесвіту так тонко налаштовані, що уможливають існування зір, планет і, власне, життя? Чи справді існує Багатосвіт? Чи було щось до Великого вибуху, який створив спостережуваний Усесвіт? Залишається ще стільки всього, чого ми не можемо пояснити. І все ж важко не бути засліпленим нашими успіхами. Хоча деякі наукові теорії можуть виявитися пов'язаними одна з одною на глибшому, ніж ми вважаємо, рівні, а інші — виявитися абсолютно неправильними, ніхто не заперечить того, як далеко ми просунулися.

<sup>1</sup> Це була назва статті, написаної Гокінгом 1981 року: S. W. Hawking, *Physics Bulletin* 32, no. 1 (1981): 15–17.

Деколи, у світлі нових емпіричних даних, ми розуміємо, що йшли хибним шляхом. А іноді ми просто уточнюємо теорію, що виявляється не помилковою, а просто грубим наближенням, яке ми поліпшуємо з метою отримання точнішої картини реальності. Є деякі галузі фундаментальної фізики, якими ми, можливо, не цілком задоволені, бо в глибині душі знаємо, що досі не чули їхнього остаточного підтвердження, але на які ми все-таки й далі покладаємося, адже вони корисні. Гарний приклад цієї думки — Ньютонів закон усесвітнього тяжіння. Його досі величають «закон», бо тодішні науковці були настільки впевнені в його остаточності, що підняли його статус вище простої «теорії». Назва прижилася, попри наше теперішнє знання, що їхня впевненість була недоречною. Загальна теорія відносності Айнштайна (зауважте, що вона називається «теорія») замінила закон Ньютона, бо вона дає нам глибше й точніше пояснення гравітації. І все ж ми досі користуємося рівняннями Ньютона, розраховуючи траєкторії польоту космічних експедицій. Прогнози ньютонівської механіки можуть бути не такими точними, як прогнози теорії відносності Айнштайна, але вони все ж доволі корисні майже для всіх повсякденних цілей.

Іншим прикладом, над яким ми все ще працюємо, є Стандартна модель фізики елементарних частинок. Це поєднання двох окремих математичних теорій: електрослабкої взаємодії та квантової хромодинаміки, які разом описують властивості всіх відомих елементарних частинок і сил, що діють між ними. Деякі фізики вважають Стандартну модель лише тимчасовим розв'язком, поки не буде відкрито точнішої єдиної теорії. І все ж чудово, що в теперішньому вигляді Стандартна модель може розповісти все, що нам потрібно знати про природу матерії, — як і чому електрони розташовуються навколо атомних ядер; як взаємодіють атоми, формуючи молекули; як ці молекули компонуються, утворюючи все навколо нас; як матерія взаємодіє зі світлом (і, отже, як можна пояснити майже всі явища). Тільки такий один її аспект як квантова електродинаміка забезпечує всю гармонію на найглибшому рівні.