

Б.Ю. ЖИЛЯЄВ
СТРІЛА ЧАСУ

Що таке час? Як коротко і ясно визначити одне з основних понять фізики і філософії? У наших повсякденних розмовах ми ні про що не говоримо так часто і з такою впевненістю, як про час. І коли ми говоримо про нього, ми, безсумнівно, розуміємо, про що йдеться. Однак що ж таке час з погляду фізики? Чи є він єдиним у межах Всесвіту? На ці непрості запитання намагається дати відповідь завідувач лабораторії швидкоплинних процесів у зірках Голлової астрономічної обсерваторії Національної академії наук України, кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник Борис Юхимович Жилияєв.

ВСТУП

Не знайдеться людини, яка б не знала, що таке час. І немає на Землі людини, яка знає, що таке час. Ще Аристотель двадцять чотирьох століть тому говорив: «З усього невідомого час — найневідоміше». І вторячи йому, Августин Блаженний у V ст. зізнався: «Що таке час? Якщо ніхто мене про це не запитує, я знаю, що таке час. Але якщо я захочу пояснити — то не знаю». Аристотеля й Августина Блаженного ми з повним правом можемо називати вченими. Адже перші університети в Європі створювала католицька церква. І ми знаємо, що великий астроном Миколай Коперник був єпископом, а Йоганн Кеплер, видатний небесний механік, утримував свою сім'ю, працюючи астрологом при дворі чеського короля.

У повсякденному житті ми асоціюємо час з годинником. Годинниковий механізм забезпечує хід часу в потрібному темпі в заданому напрямі. Напрямок ходу і темп — ось і все, що відомо пересічному громадянину про час. Проте коли ми говоримо про час у вселенському масштабі, виникають запитання. У фізиків є майже абсолютна впевненість, що час на Землі і в якій-небудь далекій галактиці в сузір'ї Гончих Псів іде однаково. І не лише там, а й усюди.

Ісаак Ньютон вважав, що у Всесвіті існує єдиний абсолютний час. Спеціальна теорія відносності (СТВ) стверджує, що час тече однаково в усіх інерційних системах координат. Слід підкреслити, що в механіці Ньютона й Ейнштейна сталість ходу часу є постулатом. І мимоволі закрадається думка про того невідомого *Годинникаря*, який задає один напрям і однаковий хід Космічному Часу в усіх куточках неосяжного Всесвіту. І сам творець загальної теорії відносності (ЗТВ) Альберт Ейнштейн неодноразово висловлював з цього приводу вражаючі думки: «Все визначено силами, над якими ми не владні ... однаковою мірою для комахи і для зірки. Людські істоти, овочі або космічний пил — усі ми танцюємо під загадковий час, модульований десь невидимим виконавцем».

СТРІЛА ЧАСУ АРТУРА ЕДДІНГТОНА

Як зазначається в Оксфордському словнику з філософії, на відміну від простору ми сприймаємо час як напрям. Існує асиметрія між уже відомим минулим і майбутнім, якого ще немає. Стріла часу є те, що дає часу напрям. Термін «стріла часу» в 1927 р. ввів у науковий обіг британський астроном Артур Еддінгтон (Arthur Stanley Eddington). Було помічено, що багато фізичних процесів на *мікроскопічному* рівні відбуваються симетрично в часі. Це означає, що теоретичні

рівняння, які описують рухи атомів, залишаються незмінними, якщо напрям часу в них змінити на протилежний. Однак коли ми розглядаємо речі на *макроскопічному* рівні, ситуація змінюється. Нам починає здаватися, що є очевидний напрям ходу подій. Стріла часу є тим, що вводить елемент асиметрії в навколишній світ.

Можна виділити ряд аспектів спрямованості часу.

1. Згідно з другим законом термодинаміки, ентропія (міра хаосу) зростає з минулого в майбутнє.

2. Всесвіт розширюється в часі.

3. Причинні зв'язки працюють тільки в одному напрямі, майбутні події не можуть впливати на минулі.

4. Ми пам'ятаємо минуле, але не можемо пам'ятати майбутнє.

5. Ми можемо змінити майбутнє в тому сенсі, в якому не можемо змінити минуле.

Як зазначено в Оксфордському словнику з філософії, лише повне розуміння часу дало б нам можливість знати чи є ці п'ять аспектів стріли часу наслідком істинної необхідності або невідомих обставин.

Як пише лауреат Нобелівської премії з хімії Ілля Пригожин, без стріли часу не було б привілейованого моменту, відомого як «теперішнє». Без стріли часу неможливо уявити собі буття. Без стріли часу світ завмер би в нерухомості фотографічного відбитка.

Сказане, проте, — всього лише констатація деяких спостережень. Потрібен більш пильний погляд на речі, щоб дістатися до першопричини.

ІСТОРИЧНА

І ТЕРМОДИНАМІЧНА СТРЕЛИ ЧАСУ

Як зазначає відомий американський фізик Девід Лейзер (David Layzer), історичні процеси мають спільну властивість — вони генерують порядок і породжують інформацію, вони трансформують просте у складне. З іншого боку, якщо ми покладемо шматочок цукру в чай, цукор розчиниться й інформація про нього зникне — ми не дізнаємося, чи був то шматочок, чи ложечка цукру, і без-

лад загалом збільшиться. Незворотні процеси руйнують макроскопічну інформацію (в нашому прикладі це молекулярна дифузія під час розчинення цукру). Вони є маніфестантами другого закону термодинаміки. Цей закон стверджує, що всі природні процеси генерують (збільшують) ентропію, що є числовою мірою хаосу.

Щоб продемонструвати закон зростання ентропії в дії, розглянемо простий приклад, зображений на рис. 1. Нехай у замкненому приміщенні знаходяться два тіла, нагрівник з температурою T_1 і термостат з температурою T_2 . Термостатом можна вважати повітря в приміщенні. Припустимо, нагрівник потужністю 1 кіловат увімкнули на 10 секунд і він нагрівся до 100 градусів. Німецький фізик Рудольф Клаузіус у 1843 р. сформулював концепцію ентропії для того, щоб чисельно розраховувати дисипацію теплоти. Ентропію за Клаузіусом визначають як кількість теплоти Q , поділену на температуру: $S = Q/T$. У нашому випадку $Q = 1\,000 \cdot 10 \text{ Вт} \cdot \text{с} = 10\,000 \text{ Дж}$. Ентропія дорівнює $S = 10\,000/100 = 100 \text{ Дж/град} = 100 \text{ Кл}$ (Кл — клаузіус, одиниця виміру ентропії, названа на честь одного із засновників термодинаміки).

Через деякий час температури нагрівника і повітря в кімнаті стануть однакові й дорівнюватимуть T_2 . Зміна ентропії становитиме $\Delta S = Q \cdot (1/T_2 - 1/T_1)$. Припустимо, температура в кімнаті дорівнює $T_2 = 20 \text{ град}$, ентропія в кімнаті — $S = 10\,000/20 = 500 \text{ Дж/град} = 500 \text{ Кл}$. А зміна ентропії становить $\Delta S = 400 \text{ Кл}$. У результаті ентропія збільшилася.

Другий закон термодинаміки стверджує, що ентропія (S) ізолюваної системи може лише збільшуватися. Потік енергії у формі теплоти Q від гарячого тіла (T_1) до холодного (T_2) з плином часу приведе до встановлення температурної рівноваги. Зростання ентропії з плином часу є «абсолютним правилом». Весь наш практичний досвід підказує, що температурна рівновага досягається перенесенням теплоти від гарячого тіла до холодного і ніколи — навпаки. Отже, зміни ентропії можна розглядати як свого роду годинник, що йде в одному напрямі. Зазначи-

мо, що другий закон термодинаміки — це проста констатація дослідних даних. Артур Еддінгтон якось зауважив, що швидше може бути порушений закон збереження енергії, ніж закон зростання ентропії.

Ми навели приклад історичної й термодинамічної стріли часу. Цікаво, що ні та, ні друга не спостерігаються на мікроскопічному рівні. «Порядок» — макроскопічний концепт, він не має сенсу, коли йдеться про окремих атомів або молекул. У світі частинок є рух, але немає еволюції. Проте ні мікроскопічна, ні макроскопічна точка зору не дають і натяку на те, де зароджується стріла часу.

НЕЗВОРОТНІСТЬ

У своїх міркуваннях Девід Лейзер зазначає, що як історична, так і термодинамічна стріли часу характеризують природні процеси, які відбуваються в одному напрямі, вони визначають події, які не можуть бути змінені, які неможливо повернути до початкового стану. Що робить ці процеси незворотними? Якщо всі феномени можна розглядати як результат взаємодії елементарних частинок, то, як зазначено вище, на мікроскопічному рівні закони фізики демонструють симетрію в часі. Залишається, правда, ще можливість, що на субатомному рівні закони фізики не мають ідеальної симетрії. І справді, було знайдено, що розпад нейтрального K -мезона в ядерній фізиці демонструє асиметрію в часі.

Очевидне порушення симетрії K -мезонами спостерігається, однак, лише в експериментах з фізики високих енергій. K -мезони не є компонентами звичайної речовини і не відіграють жодної ролі в макроскопічних процесах, які визначають історичну й термодинамічну стріли часу. Якщо корінь незворотності не можна знайти в законах, що керують мікроскопічними подіями, то його потрібно шукати в тих обмеженнях, які є в цих подіях. Закони й обмеження — додаткові аспекти фізичного опису природи. Проте пошук цих обмежень затягнувся на багато десятиліть.

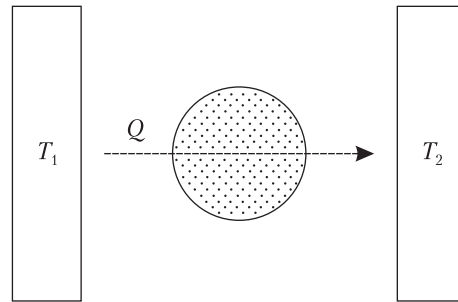


Рис. 1. Зростання ентропії в ізольованій системі

Історія з K -мезонами переконує нас у тому, що стріла часу існує і на субатомному рівні, всередині однієї елементарної частинки, де не йдеться ні про речовину у відомих нам формах, ні про закони руху цієї речовини.

Ілля Пригожин виконав титанічну роботу в пошуках джерел стріли часу. Він почав з класичної механіки, де первинним елементом вважається траєкторія руху частинки. Оскільки рівняння механіки симетричні щодо часу, в «траєкторному» описі немає ні незворотності, ні ентропії, ні, врешті, стріли часу. Парадокс, на думку Пригожина, був розв'язаний за допомогою теореми французького математика Анрі Пуанкаре, сформульованої ним у 1889 р. Суть теореми полягає в тому, що системи, які складаються з багатьох частинок, у результаті взаємодії між частинками стають «не інтегровними». Це врешті-решт призводить до неможливості точно розрахувати траєкторії частинок. І єдиним виходом стає перехід до імовірнісного (статистичного) опису руху таких систем. Адже незворотність, ентропія, а з ними й стріла часу — породження імовірнісного опису. Причому важливо зазначити, що теорема Пуанкаре говорить про *принципово нерозв'язну проблему* траєкторій для «не інтегровних» систем. Можливо, буде цікаво знати, що класична задача двох тіл про орбіту Землі навколо Сонця є «інтегровною», тобто траєкторія в цьому разі існує і може бути точно обчислена. Це відомі еліпси в задачі Кеплера. А ось задача трьох тіл належить уже до класу «не інтегровних», для неї точних траєкторій не існує в принципі. Й

описувати еволюцію потрійних систем зірок в астрономії доводиться вже методами статистичного моделювання за допомогою перебирання мас і початкових значень координат і швидкостей компонент. Розпад таких систем можна трактувати лише в термінах імовірностей залежно від того, яку конфігурацію початкових значень параметрів ми обрали. Якщо шлях якоїсь комети (задача двох тіл) може бути обчислений в аналітичному вигляді на будь-який момент як у віддаленому минулому, так і у віддаленому майбутньому, то в аналогічній задачі трьох тіл аналітичного розв'язку вже не існує. Це означає, що якщо ми спостерігаємо в Галактиці систему з трьох зірок (а таких систем ми бачимо чимало), то ми нічого не можемо сказати про те, як виглядатиме цей триплет через тисячу років.

Так математика формально вирішила проблему стріли часу. Інша справа — чи перекоонує такий формальний результат пересічного громадянина? Однак у математиці є постулат: «формально — означає правильно».

МАШИНА ЧАСУ

Можливо, багатьом здасться дивним той факт, що серйозна наука фізика не заперечує можливості подорожей у часі. Проте на шляху їх практичного здійснення стоять величезні за своїми масштабами енергетичні проблеми. Наприклад, для створення часового тунелю для подорожі в просторі-часі розміром у людський зріст потрібна енергія, еквівалентна енергії маси ста таких планет, як Земля.

Щодо машини часу варто спочатку визначитися з термінологією. Подорож у часі припускає, що минуле і майбутнє потенційно існують як реальності подібно до теперішнього. Причому існують у певний момент і в певному місці. Інакше подорожі втрачають сенс. Це означає, що ми реально (інша справа — яким чином) можемо опинитися в ситуації, наприклад, побачення з самим собою, перебуваючи в різних часах. Проблема в тому, як це здійснити. І ще одне питання: як усе це виглядає з погляду моралі та можливих відносин і вчинків. При цьому слід, очевидно, виходити

з того, що логіка земних стосунків не може бути прийнята за основу поведінки в подорожах у часі. Тут мають домінувати принципи космічного характеру, а не сублимація наших інстинктів. Незвичайність ситуації зобов'язує нас прийняти кодекс поведінки, що виключає конфлікти. Інтуїція підказує, що в іншому разі подорож не відбудеться. Постає питання: з якої причини? Та хіба мало в нашому житті причин, про джерела яких ми можемо лише здогадуватися?

Як пише Мічіо Каку, відомий космолог, професор Міського університету Нью-Йорка, у своїй книзі «Паралельні світи», Біллем ван Стокум в 1937 р. знайшов розв'язок рівнянь Ейнштейна, які уможливають подорож у часі. Машина часу ван Стокума є циліндром, що обертається зі швидкістю, близькою до швидкості світла. При цьому створюється «ефект залучення» системи відліку координат (frame-dragging). Мандрівник, облетівши навколо циліндра, по суті може повернутися назад у часі, в момент, що передує моменту відльоту. При цьому чим швидше обертання циліндра, тим далі можна поплинути назад у часі. У цій історії нас насамперед цікавлять не деталі польоту, а сама можливість подорожі в часі, яка дістає, таким чином, чіткий доказ.

Як зазначає Мічіо Каку, Ейнштейн запропонував концепт викривленого простору, а час став більше нагадувати ріку, що виляса по Всесвіту, то прискорюючи, то уповільнюючи свій біг. Ейнштейна турбувала небезпека того, що ріка часу може замкнутися сама на собі. І, можливо, в річці часу можуть існувати «вири і рукави».

У теорії відносності Ейнштейна є кілька аномалій, які, здається, перебувають за межами здорового глузду. По-перше, це широко відомі чорні діри і менш відомі «кратові нори», або «червоточини» (wormhole). Останні ввів у науковий обіг Джон Уїлер (John A. Wheeler), фізик-теоретик з Принстонського університету. Ці химерні утворення називають ще просторово-часовими «порталами», які можуть бути «воротами» в інші виміри.

Якщо уявити черв'яка, для якого Всесвіт є яблуком, то він буде двовимірною істотою, доки подорожує по поверхні яблука. Двовимірною, оскільки на яблуці, як і на глобусі, є лише дві координати — довгота і широта. Проте черв'як може скоротити свій шлях у $\pi/2$ разів, якщо вгризеться в яблуко і через утворену червоточину досягне протилежного боку яблука. Червоточина стає «порталом», просторово-часовим тунелем для подорожі черв'яка в яблуці. І зауважимо, що для черв'яка цей похід є мандрівкою через інший, третій вимір, а червоточина — машиною часу.

В концепції Ейнштейна викривленого простору-часу загальної теорії відносності час схожий на ріку, де, як і в звичайній річці, можуть бути рукави. Ігор Новіков, відомий російський фахівець з космології, використовував цей поетичний образ у своїй книзі «Ріка часу» («The River of Time»), виданій Кембриджським університетом у 2001 р. Для подорожі в часі можна створити особливий просторово-часовий портал — «петлю часу», або, просто кажучи, рукав.

Очевидно, подорож має сенс, коли мандрівник пересуватиметься в часі досить швидко. На шкоду строгості, але з користю для наочності скористаємося аналогією між плином часу і течією води в трубах. На рис. 2 зображено схему напірної трубки Прандтля для вимірювання тиску в потоці рідини.

Один кінець трубки вводять в трубу і встановлюють паралельно потоку, а другий — перпендикулярно. Відповідно до рівняння Бернуллі, сума статичного і динамічного тиску, пропорційна квадрату швидкості, залишається сталою вздовж лінії течії. Рідина в трубці Прандтля тектиме швидше, ніж у головній трубці, внаслідок надлишкового тиску ΔP і меншого перерізу. Частинки рідини, що увійшли в трубку, знов опиняться в основному потоці, причому раніше, ніж частинки, з якими вони розійшлися на вході в трубку. Отже, трубка Прандтля в річці часу може відігравати роль машини часу. Трубка, спрямована за течією, забезпечить подорож у майбутнє, спрямована проти течії — в мину-

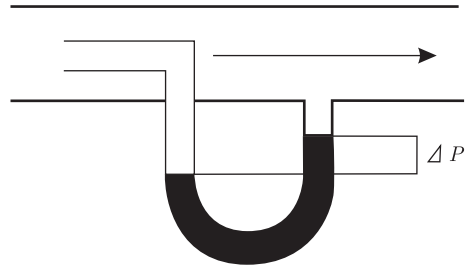


Рис. 2. Схема трубки Прандтля

ле. Чим тонша трубка, тим з більшою швидкістю відбувається подорож у часі. Нескінченно тонкі петлі часу в принципі дають змогу здійснити нескінченно далекі подорожі за розумний проміжок часу. Один з найвпливовіших космологів сучасності Стівен Хокінг (Stephen W. Hawking) з Кембриджського університету одного разу пожартував: «Якби просторово-часові тунелі існували, вони були б ідеальним засобом для швидкого переміщення в Космосі. Можна було б зранку пройти таким тунелем в інший кінець галактики і повернутися до обіду».

Отже, для подорожі в часі потрібно створити петлю часу. Це потребує викривлення простору. Для створення часового тунелю розміром з людський зріст потрібно виконати певну роботу. Можна підрахувати, що необхідна для цієї процедури енергія дорівнює енергії, яку випромінює Сонце впродовж ста тисяч років... Таким чином, теоретично задачу можна розв'язати, а практично — ні.

Іншою привабливою перспективою є можливість бачити минуле і майбутнє, не переміщуючись у просторі-часі. Така можливість пов'язана з релятивістськими гравітаційними хвилями (ГХ). Інакше кажучи, ГХ можуть діяти як ліхтар, здатний освітити минуле чи майбутнє.

Будь-яке матеріальне середовище може бути полігоном для поширення хвиль. Усім відомі хвилі тяжіння на воді, звукові хвилі в повітрі, електромагнітні хвилі у вакуумі. Звук — це поздовжні коливання (хвилі тиску), а світло — поперечні коливання електричного і магнітного полів. Гравітаційне поле, що заповнює весь простір Всесвіту, є

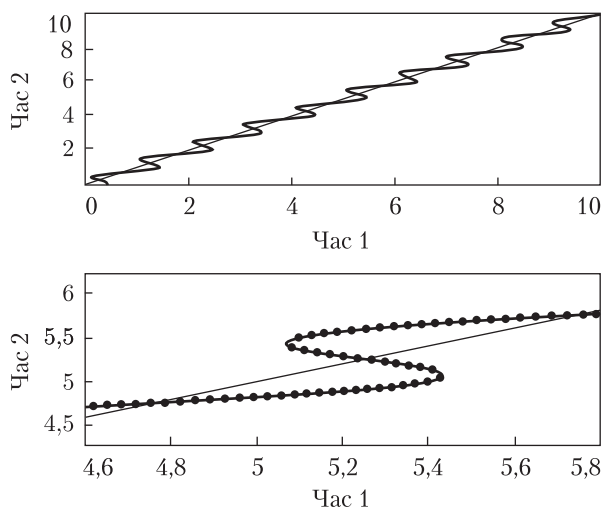


Рис. 3. Складки Уїтні на часовій осі спостерігача

середовищем для поширення гравітаційних хвиль. ГХ мають складнішу, тензорну структуру. Це хвилі напруження простору-часу, що поширюються зі швидкістю світла. Будь-яка хвиля — це збурення стану середовища, в якому хвиля поширюється. ГХ — це, грубо кажучи, збурення як метрики простору, так і плину часу.

Плаваючи у спокійному морі, ми бачимо лише малу ділянку простору навколо себе. Однак варто піднятися великій хвилі — і перед нами відкривається далечінь аж до самого горизонту. Хвиля дарує нам можливість бачити далі, ніж зазвичай.

Гравітаційні хвилі — це хвилі метрики простору-часу, і на гребені цих хвиль відкривається перспектива побачити події, віддалені не лише в просторі, а й у часі. І тут вступає в гру ще один важливий фактор.

Ми бачимо навколишній світ у проекції на сітківку ока. Фактично ми бачимо не тіла, а відображення їхніх поверхонь на площину. Всі особливості цих поверхонь ми вивчаємо за їхнім відображенням. У 1955 р. американський математик Хасслер Уїтні (Hassler Whitney) показав, що особливості відображень бувають лише двох типів — складки і зборки, решту можна звести до цих двох. Властивості особливостей відображень зберігаються і в багатовимірних просторах.

За наявності ГХ ми бачимо відображення просторово-часових подій крізь їх призму. З погляду теорії відносності можна говорити лише про простір-час, а не окремо про простір і про час, оскільки згідно з принципом відносності просторові й часова координати не є незалежними. Це означає, що особливості відображень можуть бути не тільки в просторових, а й у часовій координаті.

Що можуть означати складки і зборки Уїтні на часовій осі? Особливості при проєціюванні виникають у разі, якщо в одній точці проєкції відображуються кілька точок проєційованої поверхні. Це означає, що деякому моменту «нашого» часу може відповідати один або кілька прообразів часу з відображуваного різноманіття. Ми можемо побачити образи далекого минулого або майбутнього, а також накладення різночасових подій.

Рис. 3 наочно демонструє складки Уїтні на часовій осі спостерігача, який спостерігає віддалений об'єкт у полі потужної гравітаційної хвилі. ГХ періодично то прискорює, то уповільнює плин часу в об'єкті спостережень. Тому події в ньому, як здається спостерігачеві, відбуваються нерівномірно в часі. В результаті спостерігач бачить події то з випередженням, то з запізненням у часі. А в деякі моменти часу (в інтервалі 5,07–5,43 на рис. 3) спостерігач бачитиме три зображення об'єкта в різні моменти його історії.

Генератором ГХ може бути тіло, що обертається. Як ми вже говорили, машина часу ван Стокума у вигляді обертового циліндра дає можливість подорожувати в часі. Отже, відповідний генератор ГХ може стати для нас просторово-часовим кінематографом, або, більш сучасно, 4D-vision.

Варто ще раз підкреслити, що стосовно подорожі в часі ми не можемо говорити окремо про місце й окремо про час події, з якою стикається мандрівник. Час і простір у теорії відносності не є незалежними величинами, а об'єднуються в єдиний чотиривимірний комплекс. Щоб зрозуміти суть подорожей, потрібно відійти від звичного комплексу ЩО-ДЕ-КОЛИ і навчитися мислити в комплексі ЩОДЕКОЛИ.

ПРО ФІЗИКУ ЧАСУ

Простору і часу у фізиці відведено роль абстрактних координат. По суті це голі координатні осі, які нічого не дають нашій уяві, ні про що не говорять розуму. Вони є просто засобами опису, не пояснюючи, що за ними стоїть. Маніпуляції з простором-часом можливі лише в рамках рівнянь Ейнштейна загальної теорії відносності (ЗТВ), де учасниками гри є матерія і простір-час. Отже, жодних очевидних способів впливу на простір-час немає, принаймні сама теорія на них явно не вказує. Щоб надати просторово-часовим координатам фізичного змісту, їх потрібно зробити функціями інших координат. Нагадаємо, що під час опису матеріального універсуму ЗТВ оперує з вельми окремим видом 4-вимірних просторів (різноманіть), так званим псевдорімановим простором. Такий вибір пов'язаний з необхідністю плавного переходу від ЗТВ до класичної механіки Ньютона, коли швидкості стають малими й релятивістські ефекти перестають відігравати помітну роль. Цікаво, що сам Бернхард Ріман, який дав ЗТВ математичний апарат, допускав можливість, що матеріальний атом може бути проекцією четвертого виміру на простір трьох вимірів.

Нові геометричні уявлення було введено у зв'язку зі створенням єдиної теорії поля. Такі спроби було зроблено ще в 20-ті роки Т. Калуцею й О. Клейном у межах п'ятивимірних теорій. Введення п'ятого і більшого числа вимірів приводить до появи нових полів, до формальної залежності простору-часу від додаткових координат. Таким чином, розгляд просторів з великим числом вимірів відкриває нові перспективи. Наприклад, можна сконструювати метрики (тобто геометричні конструкції), в яких 5-й вимір впливатиме на «час» (точніше, на координату, сприйняту нами як час), а 6-й і 7-й виміри — на «простір» (точніше, на координати, сприйняті нами як простір). Так теоретично відкривається можливість впливати на простір-час з вищих вимірів. Багатовимірний підхід дає змогу побачити в часі інстанцію, наповнену фізичним змістом.

У матеріальному універсумі, описуваному ЗТВ, існує тільки одна часоподібна координата, яку ми асоціюємо з часом. Це є наслідком

того, що ЗТВ оперує з одним окремим видом 4-вимірних просторів. У низці робіт розглядаються простори, в яких з'являється не одна, а дві й більше часоподібних координат. Поява додаткових вимірів часу ставить дослідників у глухий кут. Щодо множинності «часів» фізики поки що не дійшли консенсусу.

Другий вимір часу аналізує Петро Успенський у своїй книзі «Tertium Organum», виданій у 1911 р. Він зазначає, що «тривимірність» людини обмежує її сприйняття простору й часу. Внаслідок «тривимірності» ми бачимо не реальний універсум, а його відображення на наш «3+1»-вимірний простір-час. Тож реальність та її відображення в нашій свідомості — не одне й те саме. Для ілюстрації цієї відмінності він проводить аналіз відчуттів плоскої істоти, що живе на горизонтальній площині, яку перетинає 3-вимірне дерево з гілками. Плоска істота сприйматиме розрізи гілок як абсолютно окремі, не пов'язані один з одним предмети. Ідея дерева та його гілок ніколи не зможе виникнути в уяві плоскої істоти.

Наше «3+1»-вимірне бачення, говорить П. Успенський, дає нам можливість бачити лише «теперішнє» і не бачити минулого і майбутнього. Ми так само обмежені у сприйнятті часу, як плоска істота — у сприйнятті 3-вимірного простору. Істота з 2-вимірним баченням часу вже не обмежена у своєму перебуванні на лінії (стрілі) часу. Вона може віддалитися від неї і сприймати вже не одну точку «теперішнього», а лінію в цілому, її погляду стає доступною вся часова вісь з її минулим і майбутнім.

Слід зазначити, що П. Успенський інтерпретує наше сприйняття часу і простору як феномен свідомості. Він вважає, що в нашій свідомості у прихованій формі існують можливості сприйняття і другого виміру часу, і додаткових просторових вимірів. Вважається, що спеціальні духовні практики, психотропні речовини або змінені стани свідомості здатні активізувати приховані в нас можливості. Це пояснює феномени ясновидіння, віщих снів, передбачень майбутнього. Однак ці явища ніяк не торкаються фізичного світу, оскільки вони пов'язані не з реальними діями, а з подорожами свідомості.