

УДК 371.134:5(07)

**Валентин Хитрук,**  
кандидат педагогічних наук,  
доцент кафедри фізики і астрономії та  
методики їх викладання  
Уманського державного педагогічного  
університету імені Павла Тичини

## **СТАНОВЛЕННЯ І РОЗВИТОК ПОНЯТЬ ПРОСТОРУ І ЧАСУ ЯК ЧИННИК ФОРМУВАННЯ ЗМІСТУ ПРИРОДНИЧО-НАУКОВОЇ ПІДГОТОВКИ МАЙБУТНІХ ВЧИТЕЛІВ**

*У статті дано аналіз основних етапів становлення і розвитку понять простору і часу, на прикладі понять простору і часу показано необхідність відображення історії становлення і розвитку загальнонаукових (фундаментальних) понять в змісті вищої природничо-наукової освіти.*

**Ключові слова:** *розвиток наукових понять, відображення історії становлення наукових понять в змісті сучасної природничо-наукової освіти, поняття простору і часу у своєму розвитку.*

*В статье дан анализ основных этапов становления и развития понятий пространства и времени, на примере понятий пространства и времени показана необходимость отражения истории становления и развития общенаучных (фундаментальных) понятий в содержании высшего естественнонаучного образования.*

**Ключевые слова:** *развитие научных понятий, отражение истории становления научных понятий в содержании современного высшего естественнонаучного образования, понятия пространства и времени в своем развитии.*

*The article deals with the main stages of formation and development of the concepts space and time. Necessity of formation and development of the general scientific concepts in the contents of scientific qualification by the examples of the concepts space and time is proved in the article.*

**Key words:** *development of scientific concepts, reflection of the stages of development scientific concepts in the contents of modern scientific education, concepts space and time in their development.*

Розвиток понять простору і часу є «дзеркальним» відображенням становлення наукового природознавства в цілому. Відповідно, сучасний стан природничо-наукового бачення людиною її життєвого світу не можна уявити без тлумачення простору і часу як загальнонаукових,

фундаментальних понять.

Означені вище поняття входять до структури і змісту будь-якого фрагменту системи природничо-наукових знань. Тому формування змісту і фахової, і професійно-орієнтованої підготовки майбутніх вчителів природничо-наукових дисциплін не можна уявити без врахування в ньому місця і ролі понять простору і часу та відповідного тлумачення цих понять в той чи інший період, що відповідає виникненню і становленню відповідного елементу природничо-наукового знання. Це дає підстави стверджувати, що питання становлення і розвитку наукових уявлень про простір і час слід розглядати як один із визначальних чинників формування змісту природничої освіти як у вищій, так й у загальноосвітній школі. Тому поняття «простір і час у своєму розвитку» можна розглядати як один із чинників формування змісту фахової підготовки майбутніх учителів природничо-наукових дисциплін. Розглянемо зміст поняття «простір і час у своєму розвитку» докладніше.

**Розвиток поняття простору.** У повсякденному сприйнятті під простором розуміють якусь протяжну порожнечу, в якій можуть знаходитися будь-які предмети. Однак між небесними тілами є деяка кількість речовини, та і фізичний вакуум містить віртуальні частинки. У науці простір розглядається як фізична сутність, що володіє конкретними властивостями і структурою.

Простір і час – загальні і необхідні об'єктивні форми буття матерії. Матерія об'єктивно існує у формі речовини і поля, утворює Всесвіт реальність існуючу незалежно від того, відчуваємо ми її чи ні.

Основні властивості простору формувалися в міру освоєння людиною територій і розвитку геометрії (від грец. Geometria – землемірство). Сформовані до III в. до н.е. знання систематизував давньогрецький математик Евклід. У своєму знаменитому творі «Начала», що складається з 15 книг, який став основою геометрії, він організував наукове мислення на основі логіки. У першій книзі Евклід визначив ідеальні об'єкти геометрії: точка, пряма лінія, площина, поверхня. Ці об'єкти розглядалися через деякі характеристики реального навколишнього світу або будь-яких предметів, часто для цього використовувалися уявлення про промені світла або натягнутої струни. Наприклад, образ прямої лінії пов'язаний з променем світла. Але було відомо, що в неоднорідних середовищах світловий промінь заломлюється; та сам же Евклід отримав закон рівності кутів відбиття і падіння, а Аристотель розмірковував про ламанні палиці, зануреної частково у воду. Виходячи з найбільш простих властивостей ліній і кутів Евклід шляхом суворих логічних доказів прийшов в планіметрії до формулювання умов рівності трикутників, рівності площ, теореми Піфагора, до золотого перетину, кола і правильних багатокутників. У книгах V–VI і X він викладає теорію несумірних Евдокса і правила подібності, VII–IX – теорію

чисел, а в останніх трьох – геометрію в просторі. Від тілесних кутів, обсягів паралелепіпедів, призм, пірамід і кулі Евклід переходить до дослідження правильних («Платонових») тіл і доказу, що їх існує тільки п'ять.

Виклад Евкліда побудовано у вигляді суворо логічних висновків теорем із системи аксіом і постулатів (крім системи визначень). Згідно з ними визначено основні представлення про простір, які використані І. Ньютоном в його «Математичних засадах натуральної філософії» (1687):

*однорідність* – немає виділених точок простору, паралельний перенос не змінює вигляд законів природи;

*ізотропності* – в просторі немає виділених напрямків, і поворот на будь-який кут зберігає незмінними закони природи;

*безперервність* – між двома різними точками в просторі, як близько б вони не знаходилися, завжди є третя;

*тривимірність* – кожна точка простору однозначно визначається набором трьох дійсних чисел – координат;

*«евклідовість»* – описується геометрією Евкліда, в якій, згідно п'ятому постулату, паралельні прямі не перетинаються або сума внутрішніх кутів трикутника дорівнює  $180^\circ$ .

П'ятий постулат геометрії Евкліда привертав до себе особливу увагу, і деякі його еквіваленти привели в ХІХ в. До можливості інших геометрій, в яких сума кутів трикутника більше (геометрія Рімана – геометрія на сфері) або менше  $180^\circ$  (геометрії Лобачевського і Больяї).

Положення тіл в навколишньому просторі визначається трьома координатами (довгота, широта, висота), тобто наочним уявленням відповідає тривимірність простору. Птолемеєм у своїй праці «Альмагест» стверджував, що в природі не може бути більше трьох просторових вимірів. Для визначення положення в просторі Р. Декарт обґрунтував єдність фізики та геометрії. Розвинувши ідею близькодії, він пояснював всі явища природи механічним взаємодією часток, заповнивши світ тонкою матерією – ефіром. Він ввів прямокутну систему координат («декартові координати») –  $x$ ,  $y$ ,  $z$ . Для опису орбіт планет при їх русі навколо Сонця зручніша сферична система координат, яка вираховує положення Сонця і враховує, що гравітаційне поле убуває однаково в усіх напрямках. Вибір системи координат – це просто вибір способу опису, і він не може впливати на властивості континууму, який потрібно описати. Простір і континуум незалежно від способу опису володіють своїми внутрішніми геометричними властивостями (наприклад, кривизною). Простір називають викривленим, якщо в нього неможливо ввести координатну систему, яка може вважатися прямолінійною. Інакше – він плоский.

Фізичний світ Декарта складається з двох сутностей: матерії (простої «протяжності, наділеною формою») і руху. Оскільки «Природа не терпить порожнечі» (Аристотель), протяжність заповнена «тонкою матерією» –

ефіром, яку Бог наділив безперервним рухом. Декарт описав всі процеси своїми механічними законами руху і побудував «космологічний роман» (трактати «Мир» і «Начала філософії»). Декартове уявлення про флюїди, що заповнюють простір, панувало в науці XIX і частково XX ст., зробивши істотний вплив на розвиток оптики і електрики. Вагу, як і будь-яка сила, у Декарта – властивість руху тонкої матерії, ототожнюється з простором. Тому механіцизм Декарта зводить сили до властивостей простору.

Живучи на земній поверхні майже сферичної форми, ми користуємося геометрією на площині, хоча правильніше говорити, що великі кола (паралелі і меридіани) – найкоротші відстані (що враховується при прокладці курсу літаків, наприклад). На геометрії Евкліда побудована механіка Галілея-Ньютона, де тіла рухаються криволінійно тільки під дією сил. Ньютон прийшов до ідеї абсолютних простору (нескінченної однорідної протяжності) і часу (нескінченної однорідної тривалості). Кожен об'єкт займає в просторі певне місце та орієнтацію, а відстань між двома подіями точно визначено. Положення тіла в просторі визначається тільки щодо системи якихось об'єктів: у Ньютона – щодо інерційних систем відліку. Так як спостерігається лише нерівномірний рух (а не рух з постійною швидкістю), має сенс говорити про змінну швидкість  $v = dR/dt$  тіла в просторі, а зміна руху визначаються тільки прискоренням  $dW = dv/dt$ . Ньютон перевів ці, суто буденні, відчуття на математичну мову, у нього всі рівномірні руху відносні, а прискорені – абсолютні. Причини, що викликають прискорені рухи, він назвав силами. Сили  $F$  пропорційні причиненому ними прискоренню тіл з коефіцієнтом пропорційності, званим інертною масою:  $F = M \times W$ . Якщо цей закон Ньютона прочитати справа наліво, видно, що частини системи при рівномірному русі не відчувають силового впливу. Значить, механічними засобами рівномірний рух не можна відрізнити від іншого такого ж і простір сам по собі не робить силового впливу на рухомі тіла.

Механіка Ньютона дозволяє спостерігати тільки прискорені рухи, а прискорення веде до виникнення в системі відліку рухомого тіла сил інерції. Такі, наприклад, тиск ніг людини спрямований вниз при короткочасній зупинці ліфта, що рухається в напрямку вгору, або відцентрова сила на обертовій каруселі. Приписуючи появу сил інерції простору, в якому відбувається прискорення, Ньютон доводив реальність його існування. Воно – субстанція, здатна динамічно діяти на матеріальні тіла.

Створення теорії електромагнітного поля дало можливість використовувати оптичні явища для вимірювання швидкості руху в просторі: світло повинне поширюватися в ефірі (якоїсь рідини, що заповнює простір) з постійною швидкістю, залежною від «пружності» ефіру, а швидкість світла, виміряна спостерігачем, повинна залежати від

напрямку поширення світла. Але проведений А. Майкельсона і Е. Морлі досвід показав, що ніякого ефекту, пов'язаного з ефіром, немає (1887). Довелося відмовитися від ефіру і наочних уявлень Ньютона про простір і час і як наслідок А. Ейнштейн запропонував (1905) свою спеціальну теорію відносності (СТВ).

В основі СТВ лежать два постулати: швидкість світла у вакуумі постійна і не залежить від руху спостерігача або джерела світла; всі фізичні явища (механічні та електродинамічні) відбуваються однаково у всіх тілах, що рухаються відносно один одного прямолінійно і рівномірно. Це означало скорочення довжин і уповільнення перебігу часу у відповідності з перетвореннями Лоренца для тіл, що рухаються зі швидкостями, близькими до швидкості світла. «Відтепер простір і час, взяті окремо, приречені тягнути примарне існування, і тільки єдність їх обох збереже реальність і самотійність» (Г. Мінковський). Зміни довжин і інтервалів часу відчутні лише при швидкостях, близьких до швидкості світла; при менших швидкостях рух відбувається за законами класичної механіки. У такому просторі-часі вже зручнішими є криволінійні координати. У різних системах координат по-різному будуть виглядати математичні записи законів фізичних явищ. Отже, в СТВ час і простір об'єднуються в єдиний чотиривимірний простір-час.

В кінці XIX в. З'явилися неевклідова теорія простору; різні варіанти геометрії М. І. Лобачевського, Я. Больяї і Г. Ф. Б. Рімана. Вони відкидали один з постулатів Евкліда – в них через точку можна провести декілька прямих, паралельних заданій, або жодної, відповідно. Перевіркою було б вимірювання суми внутрішніх кутів трикутника, але вимірювання Гауса і Лобачевського не виявили відхилень фізичного простору від евклідової геометрії. Простір Рімана, в якому сума кутів більше  $180^\circ$ , відповідає геометрії на сфері, цей погляд лежить в основі загальної теорії відносності (ЗТВ) – узагальненої теорії тяжіння, розробленої Ейнштейном (1916). При наявності в просторі взаємодіючих мас (тобто і поля тяжіння) простір викривляється, стає неевклідовим. Рухи тіл в ньому відбуваються найкоротшим шляхом – по геодезичним лініям. Властивості простору-часу визначаються розподілом і рухом матерії у просторі.

Хоч в ЗТВ співвідношення між кількістю матерії та ступенем кривизни просте, але складні розрахунки для опису кривизни в кожній точці потрібно знати значення 20 функцій просторово-часових координат. Десять функцій відповідають частині кривизни, яка поширюється у вигляді гравітаційних хвиль, тобто у вигляді «збурень» кривизни; інші десять визначаються розподілом мас, енергії, імпульсу, кутового моменту, внутрішніх напружень в речовині і значеннями універсальної гравітаційної сталої  $G$ . Через малість величини  $G$  потрібно багато мас, щоб істотно «зігнути» простір-час. Величину  $1/G$  часом вважають показником жорсткості простору-часу (і наш простір-час дуже жорсткий). Вся маса

Землі створює складову кривизну порядку 10–9 кривизни своїй поверхні. Щоб уявити кривизну простору-часу поблизу Землі, підкинемо м'яч в повітря. Якщо він буде перебувати в польоті 2 і опише дугу в 5 м, то світло за ці 2 с пройде відстань 600 000 км. Якщо уявити дугу висотою 5 м, витягнуту по горизонталі до 600 000 км, то її кривизна і буде відповідати кривизні простору-часу. Більшість експериментальних даних про гравітацію добре описується в просторі Евкліда чи в динаміці Ньютона, але є нечисленні явища (відхилення світла в поле тяжіння або зсув перигелію Меркурія), які суперечать теорії Ньютона і добре пояснюються в ЗТВ. На відміну від теорії гравітації Ньютона теорія Ейнштейна претендує на теорію простору-часу, тобто на теорію Всесвіту в цілому.

Характер фізичних законів істотно залежить від масштабу досліджуваних явищ, і прийнято говорити про мікро-, макро-і мегасвіті. Об'єктами мікросвіту є атомні ядра і молекули, атоми і елементарні частинки. До об'єктів макросвіту відносять живу клітину, людини і сумірні з ним предмети. Мегасвіт – це планети, Сонце, зірки, галактики і весь Всесвіт в цілому. У мегасвіті істотну роль відіграють ефекти СТВ і ЗТВ, переважаючим видом взаємодії є гравітаційна. У макросвіті закони руху тіл визначаються класичною механікою, а в мікросвіті – квантовою фізикою.

**Поняття «часу» у своєму розвитку.** Час, як і простір, мають об'єктивний характер. Вони невіддільні від матерії, пов'язані з її рухом і один з одним. За висловом І. Пригожина, «для більшості засновників класичної науки (і навіть А. Ейнштейна) наука була спробою вийти за рамки світу спостережуваного, досягти позачасового світу вищої раціональності – світу Спінози». Фактично всі картини світу, народжені точною наукою, «заперечують абсолютність часу».

Розуміння часу, який спонукає світ в безперервний рух, найбільш яскраво висловив Геракліт (бл. 530–470 до н.е.): «В одну річку не можна увійти двічі», «Все тече, все змінюється», «Світ є сукупністю подій, а не речей». Закони природи незмінні, вони зберігаються в будь-якому місці і в будь-який час. У Прокла (бл. 412–485) для більшої строгості до поняття часу застосовані геометричні міркування: «Час не подібно прямій лінії, безмежно триваючої в обох напрямках. Він обмежений і описує коло. Рух часу з'єднує кінець з початком, і це відбувається незліченну кількість разів. Завдяки цьому час нескінченний». Платон (бл. 428–347 до н.е.) писав: «Оскільки день і ніч, кругообіг місяців і років, рівнодення і сонцестояння зримо, очі відкрили нам число, дали поняття про час і спонукали дослідити природу Всесвіту». Архімед в трактаті «Про спіралі» показував, що спіраль з'єднує циклічність з поступальним рухом. Може бути, спіраль підійде для наочного образу часу, з'єднавши потік і коло?! Візерунок зі спіралі з сонцями був знайдений на залишках глечиків неоліту і на стародавньому календарі – жезлі з бивня мамонта, виявленому недавно

в Східному Сибіру. Археологи тлумачать ці візерунки як відображення ідеї Часу.

Першу фізичну теорію часу дав Ньютон: «Абсолютний, істинно математичний час, сам по собі і по самій своїй суті, без жодного відношення до будь-чого зовнішнього, протікає рівномірно й називається тривалістю». Абсолютний час – ідеальна міра тривалості всіх механічних процесів. Як не спостерігаємо істинно рівномірний рух, так і виміряти час можна, тільки наближаючись до істинного, математичного, що входить в рівняння. Абсолютний час однорідний, це означає симетрію щодо зрушень. Значить, і точка відліку часу не має значення, вона не змінює тривалість. Те ж можна сказати і про просторові симетрії класичної механіки. У просторі немає виділених ні точок, ні напрямків, тобто він однорідний і ізотропний. Ньютон не тільки виключив час зі своєї картини Всесвіту, але і закріпив його у свідомості людини як зовнішній параметр. Стало можливим розглядати неперервні періодичні процеси рівної тривалості для побудови моделі, легко вводити метрику часу. Це дозволило побудувати всю систему світу, підтвердити вражаючі передбачення теорії Ньютона для Всесвіту.

Безперервність часу означає, що між двома моментами часу, як близько б вони не розташовувалися, завжди можна виділити третій (Сьогодні немає достатніх підстав, щоб говорити про дискретність часу). Особливою властивістю часу є його односпрямованість, необоротність. Цю властивість часу розглядають як наслідок другого початку термодинаміки, або закон зростання ентропії. У класичній фізиці існує абсолютний, «вселенський час». Г. Лейбніц вважав час відносним «порядком послідовностей». Але в сучасній фізиці не існує єдиного «всесвітнього» ходу часу. У біології і геології час подекуди розглядають інакше. Так, основоположник геології датчанин Н. Стенсен будував просторові відносини не на основі руху або переміщення тіл у ньому, а з точки зору часової послідовності «раніше – пізніше». Цей підхід є природним для геолога, який розглядає історію планети через нашарування в камені.

Просторово-часовий континуум – новий засіб характеристики фізичних явищ, використовуючи який для опису подій в природі потрібно застосовувати не два, а чотири числа, дала СТВ. З точки зору Ейнштейна, фізичний простір, що охоплюється через об'єкти і їх рух, має три виміри і положення об'єктів характеризується трьома числами; момент події – четверте число. Тому світ подій є чотиривимірний континуум. У Ейнштейна не має сенсу поділ цього світу на час і простір, оскільки опис світу подій «за допомогою статичної картини на тлі чотиривимірного просторово-часового континууму» більш зручно і об'єктивно. Виміряне значення часу виявилось залежним від руху спостерігачів. Час для рухомого спостерігача тече повільніше, ніж для нерухомого:

$t = t_0 / \sqrt{1 - v^2/c^2}$ . Цей ефект уповільнення може бути помітним лише для швидкостей, порівнянних із швидкістю світла у вакуумі  $c$ . За висловом Вернадського, СТВ «заперечувала тільки незалежний від простору, абсолютний час, але не надавала йому ніяких нових властивостей – вважала його тим же ізотропним, аморфним часом, яким розумів його Ньютон». Таким чином, традиція класичної фізики зберігається.

Обговоримо явище, відоме як «парадокс близнюків». Нехай, наприклад, А. і В. – близнюки. В. Відлітає з великою швидкістю в далеку космічну подорож, А. залишається на Землі. Через якийсь час В. Повертається і виявляється молодше А. Якщо  $v$  – швидкість, з якою подорожував В., а  $\tau_0$  – час, який пройшов на Землі за час його подорожі, то час, який пройшов на борту його корабля  $\tau = \tau_0 / \sqrt{1 - v^2/c^2}$ , де  $c = 3 \cdot 10^8$  м/с – швидкість світла у вакуумі. І чим більше швидкість  $v$ , тим значніше буде різниця. Причому той, хто відчув прискорення, той і виявиться молодше. Наприклад, власний час життя  $\pi^+$ -мезона складає  $2,5 \cdot 10^{-8}$  с. Якби не було релятивістського уповільнення часу, то до розпаду така частинка проходила б у середньому відстань  $(2,5 \cdot 10^{-8} \text{ с}) \cdot (3 \cdot 10^8 \text{ м/с}) \approx 7$  м. Але, як показує досвід, проведений на прискорювачах, ці частинки здатні проходити значно більшої відстані, якщо їх швидкість співміжна зі швидкістю світла. Тому завжди необхідно уточнювати, щодо якого тіла і пов'язаної з ним системи координат він (час) розглядається.

Затримка часу, передбачена СТВ, підтверджується  $\mu$ -мезонами, розпадаються під час польоту до Землі від місця виникнення у верхніх шарах атмосфери. Це показують детектори, встановлені на повітряних кулях, на поверхні Землі і в шахтах. Згідно СТВ, зі збільшенням відносної швидкості, крім уповільнення часу, зменшуються лінійні розміри тіл вздовж напрямку руху і збільшується маса ( $L_0$  і  $M_0$  – лінійні розміри і маса тіла в стані спокою):  $L = L_0 \sqrt{1 - v^2/c^2}$ ;  $M = M_0 / \sqrt{1 - v^2/c^2}$ .

Властивості простору-часу в ЗТВ залежать від розподілу взаємодіючих мас, і рух тіл визначається кривизною простору-часу (рис. 2.3, б, в). Але вплив мас позначається тільки на метричних властивостях часу, так як змінюється лише частота при переході між точками з різними гравітаційними потенціалами. Ілюстрацією відносного ходу часу, на думку Ейнштейна, могло б стати виявлення процесів поблизу гіпотетично передбачених ним чорних дір.

А. Ейнштейн у фундаментальних законах фізики не допускав незворотності, його турбувала спрямованість часу, пов'язана з другим началом термодинаміки. Хоча рішення, щодо нестационарності Всесвіту, отримане А. А. Фрідманом з його космологічних рівнянь, пізніше було підтверджено наявністю червоного зсуву в спектрах далеких галактик, встановленого Е. Хабблом, Ейнштейн вважав гіпотезу вибухає Всесвіту тимчасовою і ставився до неї з недовірою. У 60–80-ті рр. ХХ в. Ставлення до еволюційних процесів стало змінюватися, світ постав істотно



нелінійним з необоротними процесами у своїй основі. Тому й часу в новій еволюційній картині світу уготована інша роль.

Для визначення моменту події зазвичай достатньо одного виміру, вказівки тільки одного числа. Таке сприйняття часу настільки звично, що більше число вимірювань для часу важко уявити. Але спостережувані події відбуваються від минулого до майбутнього. І це якісно відрізняє часовий вимір від просторового, причому для будь-якого спостерігача в даній точці простору послідовність подій зберігається. Можна сказати, що поняття «минуле» і «майбутнє» в даній точці простору є поняття абсолютні. Для просторових осей немає такого виділення напрямів, і поворот на  $180^\circ$  навколо осі, перпендикулярної лінії, яка з'єднує дві одночасних подій, переводить розташування подій що зліва від спостерігача – в подію справа. Тобто поняття «праве» і «ліве» відносні для одночасних подій. Спрямованість часу тісно пов'язана з розумінням причинності: причина повинна передувати слідству. Це властивість часу відноситься до класу невирішених проблем у фізиці і в усьому природознавстві. З цієї причини в науці існує ряд парадоксальних ситуацій, розгляд яких теж має бути відображеним в структурі змісту підготовки вчителів природничо-наукових дисциплін.

#### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Гусейханов М. К. Концепции современного естествознания : учебник / Гусейханов М. К., Раджабов О. Р. – 6-е изд., перераб. И доп. – М. : Издательско-торговая корпорация «Дашков и К», 2007. – 540 с.
2. Кримский С. Б. Научное знание и принципы его трансформации / С. Б. Кримский. – К. : Наук. Думка, 1974. – 207 с.
3. Структура и развитие науки. – М. : Прогресс, 1978. – 276 с.