

ПРОСТОРОВО-ЧАСОВА СИМЕТРІЯ І ЗАКОНИ ЗБЕРЕЖЕННЯ

*Горбачук І.Т.,
кандидат фіз.-мат. наук , професор
НПУ імені М.П.Драгоманова,*

*Мусієнко Ю.А.,
викладач, НПУ імені М.П.Драгоманова,*

У закладах середньої і вищої освіти України відчувається дефіцит видань з фізики науково-популярного змісту, в яких би йшла мова про найважливіші проблеми сучасної фізики, фундаментальні закони, філософсько-методологічне їх обґрунтування. У статті автори прагнуть звернути увагу на питання простору, часу, їх симетрії та зв'язку із законами збереження.

В учреждениях среднего и высшего образования Украины ощущается дефицит научно-популярных изданий по физике, в которых бы шла речь о важнейших проблемах современной физики, фундаментальных законах, их философско-методологическом обосновании. В статье авторы стремятся обратить внимание на вопросы пространства, времени, их симметрии и связи с законами сохранения.

In institutions of secondary and higher education in Ukraine is a shortage of scientific and popular publications on physics, which would have dealt with the major problems of modern physics, the fundamental laws, their philosophical and methodological basis. In the article the authors seek to draw attention to the issue of space, time, symmetry and their relation to the conservation laws.

Сучасна наука і експериментальна техніка дають можливість одержувати інформацію від об'єктів мегасвіту на відстанях до 10^{26} м (13 млрд. світлових років, 1 світловий рік – відстань, яку проходить світло протягом року при швидкості $3 \cdot 10^8$ м/с) і проникати в глибини мікросвіту до розмірів ядер атомів ($\approx 10^{-15}$ м) та елементарних частинок ($\approx 10^{-18}$ м) і вивчати властивості матерії в цих масштабах. Зараз є можливості спостерігати і досліджувати об'єкти мегасвіту, час життя яких становить ≈ 13 млрд. років, і об'єкти мікросвіту, час життя яких близько 10^{-24} с. Як посередні, так і безпосередні спостереження та дослідження вказують на матеріальну єдність Всесвіту, взаємну обумовленість процесів і явищ, безмежність якісних форм матерії та її змін у просторі і часі

Простір і час не існують окремо від матеріальних об'єктів або процесів, що відбуваються з ними. Не можна говорити про просторову протяжність чи масштаби поза матеріальними об'єктами, так само, як не можна уявити час без процесів змін матерії. Довжини окремо від тіла не існує, так само не існує й інтервалів часу окремо від змін, або процесів. Простір і час носять характер відношень і не існують окремо від тіл і процесів.

Простір визначає порядок співіснування окремих матеріальних об'єктів і їх відносних розмірів, час — послідовність подій і їх відносну тривалість.

Вимірювання часу містить два запитання: «Як довго це відбувалось?» і «Коли це було?». На перше запитання можна відповісти, якщо в початковий момент події ввімкнути, наприклад, секундомір, а в кінцевий – вимкнути. Ми знайдемо таким чином проміжок часу, протягом якого відбувалася подія. Щоб відповісти на друге запитання, потрібно виміряти час відносно умовно прийнятого нульового значення, наприклад, від опівночі. Щоб зафіксувати точну дату і час, за нульове значення беруть певну історичну подію. Відлік днів починають, скажімо, від Нового року, а років — від початку нашої ери.

Аби визначити відносне положення певного об'єкта (матеріальної точки) потрібно за допомогою масштабної лінійки виміряти відстань від заданої точки до певного тіла взятого за тіло відліку. Якщо з тілом відліку зв'язати декартову прямокутну координатну систему, то, вимірявши три координати (x, y, z), можна зафіксувати положення матеріальної точки у просторі. Зв'язана з тілом відліку координатна система разом з масштабом і годинником становить *систему відліку*. Мова буде йти про інерціальні системи відліку. Тому, аби описати положення матеріального об'єкта у просторі і його переміщення у часі, необхідно мати три просторові координати (x, y, z) і одну часову (час руху t).

Існування матерії у просторі і часі проявляється в тому, що просторові і часові характеристики явно або неявно входять у довільні фізичні закони. Прикладами є рівняння кінематичне

$$X = x_0 + v_x t + a_x t^2 / 2.$$

другого закону Ньютона

$$F = ma \quad (F_x = m \frac{d^2 x}{dt^2}).$$

закону Ома $I = U/R$ ($q/t = US/\rho l$), вільних коливань $m \cdot \Delta v / \Delta t + kx = 0$ та ін.

У 1687 р. І.Ньютон вводить поняття абсолютного часу і абсолютного простору.

Абсолютний час, на думку вченого, не може бути змінений у своєму плині. Одна і та ж тривалість і один і той же стан відповідають існуванню всіх речей, незалежно, чи швидкі рухи чи повільні. Абсолютний простір самою своєю суттю, безвідносно до чого завгодно зовнішнього, залишається скрізь однаковим і нерухомим.

За такими поглядами Ньютона про простір і час будувалася вся **класична фізика**. Абсолютний час за уявленнями класичної фізики має такі властивості:

1. Час існує сам по собі незалежно від будь-чого у світі.

Це означає, що існує єдиний час, який протікає у всьому світовому просторі однаково ритмічно, з однаковою скрізь швидкістю плину. Хід часу однаково рівномірний у минулому, теперішньому і майбутньому. Ході часу підпорядковані всі матеріальні об'єкти природи і ті

зміни, що з ними відбуваються (явища). Однак самі ці об'єкти і явища не впливають на хід часу. Час, який ми сприймаємо і вимірюємо у своєму буденному житті за певними періодичними процесами (обертання Землі навколо осі, коливання маятника та ін.), може лише більшою чи меншою мірою співпадати із плином світового часу. За Ньютоном, – це відносний, або звичайний час, який не має жодного відношення до абсолютного світового часу.

2. Час однорідний. Це значить, що всі моменти часу фізично між собою рівноправні, однакові. Фізичне явище, котре відбулося в певний момент часу t , може бути точно відтворене у будь-який наступний момент часу, якщо зберегти всі умови його проходження. Саме на цій основі можна впевнено стверджувати, що ті факти і закони, які були встановлені у попередні роки і століття, мають місце і в наш час. Однотипний дослід може бути повторений багато разів у різний час (через день, місяць, рік), і результат має бути той самий. Внаслідок однорідності часу і однаковості його плину зовсім не має значення, який момент обрати за початок його відліку.

3. Одновимірність часу. Це означає, що час визначається одним виміром. Для фіксації моменту часу довільного явища або події достатньо охарактеризувати цю подію одним числом виміряного часу від початкового моменту, тобто зазначити, о котрій годині відбулася подія. Про будь-яку іншу подію ми можемо сказати, що вона відбулася пізніше або раніше певного моменту часу на відповідну кількість одиниць вимірювання часу (секунд). Може бути поставлено запитання не коли відбулася подія, а як довго вона продовжувалась? У цьому разі подію також характеризують одним числом, що являє собою різницю часу між кінцем і початком події.

4. Однонапрявленість часу (або необоротність часу). Час протікає з минулого у майбутнє. Повернути плин часу неможливо. У просторі можна переміщуватися у прямому і зворотному напрямках і ці переміщення рівноправні. Хід подій у часі протікає лише в одному напрямі, і реально переміститися по осі часу у минуле неможливо. Довільний матеріальний об'єкт, у тому числі і жива природа, перебуває у сьогочасності, минуле вже було, а майбутнє ще наступить. Час плине від минулого через сьогодення у майбутнє. Причини однонапрявленості ходу часу невідомі і на сьогодні обґрунтованих пояснень немає.

5. Вічність часу. Час сягає від сьогодення необмежено назад у минуле і необмежено вперед у майбутнє. На одновимірній осі часу немає виділених точок початку або кінця. Всі точки рівноправні і довільно кожна з них можна обрати за початок відліку часу.

Простір у класичній фізиці також розглядається як абсолютний. Це означає, що простір не залежить від усього того, що в ньому вміщено. Світовий простір існує сам по собі, єдиний, скрізь однаковий і незмінний. Властивості простору, за класичною фізикою, такі:

1. Простір існує сам по собі, і своїм існуванням не обумовлений нічим у світі. Отже, у просторі міститься матеріальний світ з усіма його різноманітними проявами. При цьому сам абсолютний простір існує незалежно від матеріальних об'єктів і їх змін, тобто не відчуває їх наявності або відсутності.

2. Простір однорідний. Це означає, що всі точки простору фізично рівноправні. Саме завдяки однорідності простору фізичні явища за однакових умов у різних місцях не тільки земної поверхні, а й світового простору, протікають однаково. На цій основі можна стверджувати, що закони природи, встановлені, наприклад, у Парижі, Москві чи Нью-Йорку, справедливі й в усіх інших місцях простору і що при дослідженні довільного явища природи матимемо однаковий результат незалежно від того, в яких місцях простору проводиться дослідження.

3. Простір ізотропний. Це означає, що всі напрями у просторі фізично рівноправні. Жодний напрям не має переваги перед іншими. Це також означає, що властивості матеріальних об'єктів і протікання довільних фізичних явищ не залежать від того, як ми розмістимо сам об'єкт дослідження, лабораторію чи вимірювальну установку. Поворот у просторі не відбивається на ході фізичних процесів.

4. Оборотність простору. У просторі можна переміщатись у будь-якому його напрямі. В одну і ту ж точку можна потрапити скільки завгодно разів, переміщуючись по просторовій осі у прямому і зворотному напрямках.

5. Простір тривимірний. Для однозначного встановлення положення матеріальної точки у просторі необхідно провести виміри трьох координат. Рух довільного тіла у просторі також може здійснюватись у трьох напрямках: вгору або вниз, вправо чи вліво, вперед або назад. Довільне тіло має довжину, ширину і висоту, тобто певну протяжність у трьох напрямках простору. Із спостережень і практики випливає, що простір тривимірний, і зафіксувати довільну подію у точці простору означає задати положення цієї події за допомогою трьох чисел.

6. Простір безмежний. Не існує ні початку, ні кінця протяжності простору, тобто він необмежений в усіх напрямках. У просторі не існує природно виділених точок початку або кінця і, отже, початок відліку просторової протяжності можна обрати довільно, помістивши в цю точку якесь тіло (тіло відліку) і виділивши її таким чином серед безлічі рівноправних точок.

7. Плоский, евклідовий характер простору. Властивості простору у розумінні класичної фізики описуються геометрією Евкліда. Основними поняттями цієї геометрії є поняття прямої лінії і плоскої поверхні. Основні положення геометрії Евкліда сформульовані у вигляді аксіом і теорем (через довільні дві точки можна провести лише одну пряму лінію; через точку поза прямою можна провести лише одну пряму, яка

не буде перетинати задану пряму; сума кутів трикутника дорівнює 180° тощо). Правильність цих тверджень перевіряється практичною діяльністю людини. Ми ними повсякденно користуємося, навіть не помічаючи цього. Оскільки практика, що базується на геометрії Евкліда, не підводить, то виникає переконання, що відстані, форми, об'єми тіл реальні, і простір є евклідовим. Пізніше з'явилися інші геометрії на кривих поверхнях (геометрія М.І. Лобачевського, Я. Больяї, Б. Римана), але питання про те, яка геометрія реального простору і який зв'язок геометрії з фізикою довгий час не було розв'язане.

Кожна з властивостей простору і часу, які стверджуються класичною фізикою, не мають протиріччя з повсякденною практикою або з дослідами чи спостереженнями. Ці властивості повністю задовольняють вимоги «здорового глузду». Хоч слід відмітити, що не всі вище згадані властивості переконливо можуть бути доведені або перевірені практикою. Зокрема, нескінченність простору і часу. Таких фактів фізика не мала раніше і не має сьогодні. Однак ці твердження не входять у протиріччя з практикою, і тому вони вважаються правильними.

Це стосується й інших властивостей простору і часу, прийнятих класичною фізикою. Ці властивості сформувалися у свідомості людини на основі спостережень і повсякденної практики. Але досвід людини обмежений. Тому й відповідні уявлення існують і вважаються правильними до тих пір, поки ми не вийшли за межі існуючого досвіду. Новий досвід і нові результати досліджень можуть значно розширити і змінити існуючі уявлення. Такі зміни відбуваються у процесі наукового пізнання природи.

Класичні уявлення про фізичні властивості простору і часу були розширені і уточнені новітньою фізикою. Протягом першої чверті ХХ ст., переважно в результаті наукових досліджень А. Ейнштейна, значно змінились уявлення про простір і час та їх фізичні властивості. Перш за все, це стосується єдності простору-часу як єдиного континууму та залежності його стану від наявності матеріальних об'єктів.

Термін «симетрія» (грецьке *simetria* – однорідність, співрозмірність, пропорціональність, гармонійність в об'єкті) увійшов у наукову термінологію із спостережень симетричних або асиметричних тіл, предметів, різноманітних об'єктів живої і неживої природи.

Симетрія відіграє важливу роль в архітектурі, в образотворчому мистецтві і загалом у навколишньому світі, створюючи враження єдності, гармонії, що викликає естетичну насолоду. Що ж слід розуміти під симетрією?

Відомий математик Г. Вейль запропонував таке просте і точне визначення симетрії, згідно з яким симетричним є тіло, котре можна довільним чином змінювати, дістаючи в результаті те ж саме, що було на початку.

Поняття про симетрію характеризує перехід об'єктів у самих себе або один об'єкт у інший в результаті здійснення над ним певних перетворень, які називають *перетвореннями симетрії*. В більш широкому розумінні симетрія – це властивість незмінності (інваріантності) окремих властивостей, характеристик, процесів та відношень об'єктів при певних перетвореннях.

Симетричними об'єктами можуть бути найрізноманітніші утворення: предмети, процеси і взаємодії, геометричні фігури, математичні рівняння, фізичні закони, живі організми, витвори мистецтва і т. п. Перетвореннями симетрії (реальні і уявні) можуть виступати переміщення у просторі, повороти, дзеркальні відображення, переміщення у часі, зворотність часу, зарядове сполучення (заміна частинок на античастинки), а також їх поєднання між собою.

Серед усіх фізичних законів найбільшою загальністю і фундаментальністю вирізняються принцип відносності та закони збереження. Вони справджуються в нерелятивістській і у релятивістській фізиці класичних і квантових явищ.

Закони збереження безпосередньо пов'язані і обумовлені властивостями симетрії природи. Це виражається в незмінності фізичних законів (у їх інваріантності) при певних перетвореннях. Самі перетворення називають перетвореннями фундаментальної симетрії. Вище наводились просторово-часові перетворення фундаментальної симетрії. Однією з них є властивість однорідності простору, що означає еквівалентність всіх точок фізичного простору і, відповідно, симетрію стосовно переносу початку координат.

За теоремою Е. Нетер кожному перетворенню фундаментальних симетрій відповідає закон збереження певної фізичної величини. Однорідність простору, тобто симетрія стосовно зміщення початку координат на $\vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{r}'$, приводить в замкненій системі матеріальних об'єктів до закону збереження кількості руху $\vec{p} = m\vec{v}$. Розглянемо

взаємодію ізольованої системи двох частинок: $\frac{d\vec{p}_1}{dt} = \vec{F}_{12}$ і $\frac{d\vec{p}_2}{dt} = \vec{F}_{21}$. За третім законом

Ньютона $F_{12} = -F_{21}$. Тоді $\frac{d\vec{p}_1}{dt} + \frac{d\vec{p}_2}{dt} = \frac{d}{dt}(\vec{p}_1 + \vec{p}_2) = 0$, або $\vec{p}_1 + \vec{p}_2 = const$.

Симетрія стосовно перетворення часу на $t = t_0 + t$, що є наслідком однорідності часу, приводить до закону збереження енергії для систем, які знаходяться в незмінних за часом зовнішніх умовах. Наприклад, енергія рухомої з швидкістю $V=const$ частинки маси m в полі тяжіння $W = \frac{mv^2}{2} + mgh$ зберігається, оскільки поле тяжіння з часом не змінюється, а потенціальна енергія залежить лише від висот h над поверхнею Землі, де $g = const$.

Симетрія стосовно повороту осей систем відліку, обумовлена ізотропністю простору, приводить до закону збереження момента кількості руху $\vec{L} = [\vec{r} \cdot \vec{p}]$. Дійсно, для ізольованої вільної частинки $\vec{L} = const$. Продиференціюємо вираз для \vec{L} по часу: $\frac{d\vec{L}}{dt} = \left[\frac{d\vec{r}}{dt} \cdot \vec{p} \right] + \left[\vec{r} \cdot \frac{d\vec{p}}{dt} \right]$. Перший доданок правої частинки цієї рівності дорівнює нулю, оскільки швидкість $\frac{d\vec{r}}{dt}$ і імпульс \vec{p} колінеарні. Другий доданок дорівнює нулеві, оскільки зберігається імпульс ізольованої системи і $\frac{d\vec{p}}{dt} = 0$. Отже, $\frac{d\vec{L}}{dt} = 0$ і $\vec{L} = const$

В механіці вводиться поняття інерції. Інерція характеризує природній внутрішній зв'язок матерії і руху. Наявність у тіла інерції вказує на збереження руху. А отже на збереження (незмінність) тих фізичних величин, які характеризують рух: енергії, імпульсу, момента імпульсу. Мірою інертності є маса. З дослідів відомо, що інертна маса замкненої системи тіл зберігається, а, отже, зберігається інертність і рух матерії. Характеристикою руху є імпульс. Закон збереження імпульсу замкненої системи тіл стверджує, що механічний рух може передаватись від одних тіл до інших, але результуючий рух замкненої системи не змінюється. З іншого боку, повна механічна енергія визначається рухом та положенням тіл і є однозначною функцією стану тіла чи системи тіл. Закон збереження механічної енергії вказує на те, що рухи виникнути з нічого або зникнути безслідно не можуть. Передавання енергії означає передавання руху, зміна енергії означає перетворення руху з одних видів в інші. Збереження енергії означає збереження руху. Закони збереження маси, імпульсу та енергії виражають загальний принцип збереження матерії та її руху.

Список використаної літератури

1. Астахов А.В. Курс физики. Т.І. Механика. Кинетическая теория материи. – М.: "Наука" ГРФМЛ, 1977. – 384 с.
2. Вейль Г. Пространство, время, материя. Лекции по общей теории относительности. – М.: Эдиториал УРСС, 2004.
3. Горбачук І.Т., Дідович М.М., Мусієнко Ю.А. Симетрія і закони збереження. Ч.1. – К.: НПУ. – 1997. – 140 с.
4. Компанец А.С. Пространство-время в теории относительности. – М.: "Знание", 1961. – 62 с.