

Оскільки $\Delta T \ll T_1$ і враховуючи те, що зміни ентропії при процесах переходу зі стану 3 в стан 4 і зі стану 4 в стан 3 за абсолютними значеннями повинні бути рівні, і, окрім того, замінивши $C_v = R i / 2$, де число ступенів вільності i розрахуємо за (4), на $C_v = R \cdot (h_1 - h_2) / h_2$, можемо записати:

$$\Delta I_3 = (\nu/\mu) \times (K \cdot (p_1 - p_2) \cdot p_2) \cdot \Delta T \cdot T_1 = p_1 M_1 ((p_1 - p_2) \cdot p_2) \cdot \Delta T \cdot T_1^2 \nu$$

Процес ізохорного нагрівання газу супроводжується збільшенням його ентропії, тобто $\Delta S_3 > 0$.

Розрахунок зміни ентропії газу вимагає вимірювання зміни температури повітря, яка має порядок одного кельвіна. Ці вимірювання можна зробити за допомогою термопари, термометра опору та інших термочутливих датчиків. В роботі, яку виконують студенти нашого університету, використовується мідь-константанова термопара, з'єднана з відповідно проградуйованим дзеркальним гальванометром.

Література

1. Сивухи Д.В. Общий курс физики, Том 2. Термодинамика и молекулярная физика. – М.: Наука, 1975. – 78 с.
2. Загальна фізика. Лабораторний практикум / За ред. І.Т.Горбачука. - К., Вища школа, 1992. – 186 с.

*Мусієнко Ю.А., Горбачук І.Т.
Національний педагогічний університет
імені М.Драгоманова*

ПРИНЦИПИ СИМЕТРІЇ ТА ЇХ ЗВ'ЯЗОК З ЗАКОНАМИ ЗБЕРЕЖЕННЯ У ФІЗИЦІ

Фізика є однією з головних природничих наук і становить основу не тільки сучасного науково-технічного прогресу, а й сучасного наукового світогляду. Одним з важливих аспектів при вивченні фізичних законів, особливо законів збереження, є їх розгляд у поєднанні з законами симетрії.

Закони збереження у фізиці мають важливе теоретичне, евристичне і світоглядне значення. Ці закони належать до фундаментальних принципів фізики, вони є універсальними законами природи і справджуються в мега-,

макро– і мікросвіті. Закони збереження нерозривно зв'язані з принципами симетрії та з основоположними фундаментальними реальностями оточуючого світу, якими є матерія, її рух, простір і час.

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

Сучасне поняття симетрії значно ширше за поняття симетрії геометричних форм (симетрії положень) і не обмежується розглядом незмінності об'єктів відносно геометричних змін – відображень, поворотів, переносів. Це поняття включає в себе об'єкт або явище, симетрія якого розглядається; перетворення, відносно якого розглядається симетрія; інваріантність певних властивостей об'єкта, яка виражає розглядувану симетрію.

Перетвореннями симетрії (реальні і уявні) можуть виступати переміщення у просторі, повороти, дзеркальне відображення, переміщення у часі, зворотність часу, зарядове спряження (заміна частинок на античастинки), перестановка частинок, а також їх поєднання між собою.

Симетрія простору полягає у повній еквівалентності всіх просторових точок між собою. Простір однорідний, у ньому немає особливих, виділених точок, тому при переході від одних точок простору до інших довільна система перетворюється сама в себе, або ж інакше, залишається незмінною, тобто є незалежною від вибору просторових точок. Отже, переміщення у просторі є одним із перетворень симетрії, а сам простір симетричний.

Простір також ізотропний, тобто всі напрями у просторі рівноправні. Отже, простір симетричний у розумінні поворотів довільних систем, він не накладає ніяких змін на системи або процеси залежно від їх орієнтації.

Суть симетрії часу полягає в його однорідності, у відсутності виділених точок на осі часу, їх еквівалентності. В результаті природні явища, процеси та й самі матеріальні об'єкти зовсім не залежать від того, в який момент часу вони протікають або спостерігаються.

Важливим є той факт, що в результаті розвитку фізики і особливо теорії відносності було доведено інваріантність законів природи, тобто незалеж-

ність їх не тільки від людини, але й від стану систем відліку, в яких проводяться дослідження явищ. Якщо закони фізики, що встановлюють співвідношення між величинами, які характеризують фізичну систему або її зміну у просторі і часі, не змінюються під час певних математичних операцій (перетворень), то кажуть, що ці закони мають симетрію (інваріантні) відносно даного типу перетворень. З дослідів випливає, що фізичні закони симетричні відносно таких найбільш загальних перетворень:

1. Симетрія законів фізики відносно просторового переносу. Результати експериментів будуть однаковими у довільних точках світового простору, якщо зберігаються всі початкові умови дослідження і перенос здійснюється разом з усіма суттєвими впливами на хід досліджуваного явища. Симетрія фізичних законів відносно переміщень у просторі означає еквівалентність усіх точок простору (однорідність простору).

2. Симетрія законів фізики відносно повороту системи відліку як цілого у просторі. Симетрія фізичних законів відносно такого типу перетворень (повороту осей координат у просторі) підтверджує еквівалентність усіх напрямків у просторі (ізотропність простору).

3. Симетрія законів фізики відносно переміщень у часі. Вибір початку відліку часу не впливає на хід фізичних процесів. Симетрія фізичних законів відносно переміщень у часі означає, що фізичні закони не змінюються з часом і, отже, вони доступні пізнанню в результаті багаторазових досліджень як у попередні часи, так і в майбутньому.

4. Симетрія законів фізики відносно рівномірного руху по прямій. Симетрія фізичних законів відносно цього типу перетворень свідчить про еквівалентність усіх інерціальних систем відліку. У випадку, коли є кілька рухомих одна відносно одної інерціальних систем відліку, проведенням фізичних експериментів у цих системах ніяк не можна виявити, яка саме з них рухається. Це симетрія відносно перетворень Лоренца, які можна розглядати як поворот в чотиривимірному просторово-часовому континуумі. Тобто, симетрія законів природи при переході від однієї інерціальної системи відліку до іншої являється узагальненням симетрії стосовно поворотів, якщо їх розглядати не в звичайному тривимірному просторі, а в чотиривимірному континуумі.

5. Симетрія законів фізики відносно просторової інверсії (зміни знака координат). Симетрія фізичних законів відносно цього типу перетворень свідчить про незмінність фізичних законів при заміні правого на ліве, а лівого на праве. Проте інваріантність фізичних законів щодо інверсії може порушуватись у явищах, обумовлених слабкою взаємодією, наприклад, при β^- -розпаді атомних ядер (що було експериментально доведено в 1957 р. американськими фізиками Т. Лі і Ч. Янгом). Л. Д. Ландау довів, що симетрія відновлюється при одночасному дзеркальному відображенні і заміні частинок на античастинки.

6. Симетрія законів фізики відносно зворотності часу (зміни часу t на $-t$). Вивчення взаємоперетворень елементарних частинок доводить, що обидва напрямки часу фізично рівноправні. Фізичні закони симетричні відносно майбутнього і минулого.

Перелічені симетрії фізичних законів пов'язані з просторово-часовими змінами (або переміщеннями – трансляціями). Ці симетрії є відображенням властивостей геометрії псевдоевклідового чотиримірнього простору – часу.

Розширення списку фізичних симетрій і розвиток застосування принципів симетрії у фізиці пов'язане з появою квантової механіки, яка продовжила перебудову традиційних уявлень про світ фізичних явищ, ввела нову мову їх опису і, звичайно, нові симетрії.

Симетрія відносно перестановки однакових частинок вказує на існування в природі зовсім тотожних частинок і на неможливість розрізнити їх фізичними експериментами.

Суттєвою є симетрія зарядового спряження – заміни частинок на відповідні античастинки, яка пов'язана з законом збереження зарядового спряження в системі однакової кількості частинок і античастинок. Хід природних процесів і закони фізики при такій заміні залишаються сталими і симетричними.

Симетрія повороту в просторі ізоспіна тісно пов'язана з законом збереження повного ізотопічного спіна. Перетворення різноманітних нуклонних станів, які відображають ізотопічну інваріантність сильних взаємодій, по аналогії зі звичайним спіном трактувались як “повороти” в деякому уявному просторі – просторі ізоспіна.

Калібровочна симетрія пов'язана з законом збереження електричного заряду. Дуже спрощено її можна уявити як симетрію фізичних законів стосовно зміни значення потенціалу електричного поля, оскільки фізичний зміст має не сам потенціал, а його зміна. Стабільність електрона тісно пов'язана саме з цим законом збереження. Оскільки електрон є зарядженою частинкою з найменшою відмінною від нуля масою спокою, то його розпад призвів би до утворення лише частинок з нульовою масою спокою. Проте всі частинки з нульовою масою спокою електрично нейтральні. Таким чином, розпад електрона заборонено законом збереження електричного заряду.

Можна стверджувати, що кожний закон збереження тісно пов'язаний з цілком визначеною симетрією законів природи. На сучасному рівні розвитку науки цей зв'язок можна пояснити на основі квантової механіки за допомогою теореми Нетер: для фізичної системи, рух якої описується диференціальними рівняннями, кожному перетворенню, при якому дія не змінюється, відповідає диференціальний закон збереження. Тобто кожному перетворенню симетрії відповідає фізична величина, яка зберігається (не змінюється). Таким чином, зв'язок між законом збереження і симетрією законів природи було математично доведено.

Наприклад, закон збереження енергії зв'язаний з однорідністю часу; закони збереження імпульсу і моменту імпульсу пов'язані, відповідно, з однорідністю простору (інваріантність законів фізики відносно переміщень тіл або систем відліку у просторі) та з ізотропністю простору (інваріантність відносно поворотів об'єктів дослідження або систем відліку у просторі).

Особливо значимими є симетрії у фізиці елементарних частинок, де різноманітні явища можна зрозуміти і в загальних рисах описати лише на основі ряду принципів симетрії. Закон збереження заряду пов'язаний з внутрішньою симетрією і визначає той факт, що відповідні заряди є джерелами полів і одночасно носіями взаємодій між частинками. Калібрувальна симетрія пов'язана з властивостями елементарних частинок, а не властивостями простору–часу.

Цікавою є проблема зв'язку між симетріями і різними типами взаємодій. Існує правило: чим сильніша взаємодія, тим вона симетричніша. Тобто, чим слабша взаємодія, тим менше вона контролюється законами збереження

(наприклад, закони збереження просторової і зарядової парності – P-інваріантність та C-інваріантність – виконуються в електромагнітних і сильних взаємодіях, але не виконуються в слабких. Для сильних взаємодій можна вказати десять законів збереження: енергії, імпульса, моменту імпульса, електричного заряду, баріонного заряду, просторової, зарядової і часової парності, дивності, ізоспіна. Вже в електромагнітних взаємодіях не відмічається закон збереження ізоспіна. У світі слабких взаємодій мусимо відмовлятися від чотирьох законів збереження: просторової і зарядової парності, дивності, ізоспіна. В деяких випадках порушується і закон збереження часової парності, хоча, як компенсацію, можна додати закони збереження СРТ – парності і комбінованої парності.

Важливими при розгляді симетрій є такі три принципових положення:

1. Симетрія пов'язана зі збереженням. Вона виділяє в нашому мінливому світі різні інваріанти, своєрідні “опорні точки” і тим самим упорядковує його.

2. Симетрія виділяє загальне як в об'єктах, так і у явищах. Світ багатогранний, але в той же час він єдиний. Закони збереження відображають те загальне для всіх випадків, що, врешті-решт, пов'язане з відповідними властивостями симетрії природи. Область їх застосування виходить за рамки окремих теорій. Універсальний характер законів збереження визначає достовірність результатів, які отримуються на їх основі.

3. Симетрія визначає необхідність: вона спрямована на скорочення числа можливих варіантів як структур, так і поведінки систем. Опосередковано через закони збереження симетрія виключає багато формально уявних варіантів поведінки систем і іноді майже однозначно приписує системі ту чи іншу поведінку, тобто дає можливість робити наукові передбачення.

Закони збереження є загальними законами природи і виступають відображенням симетрії простору – часу, в якому перебуває і рухається матерія або відображенням внутрішніх симетрій матеріальних об'єктів. Тому перевірка законів збереження є певною мірою і перевіркою як фундаментальних властивостей простору – часу, так і властивостей самих об'єктів мікросвіту.