

Гліана Владленова

ВЛАДЛЕНОВА Гліана Вікторівна — кандидат філософських наук, доцент кафедри філософії Національного технічного університету «ХПІ» (м. Харків). Галузь наукових інтересів — онтологія, філософські проблеми фізики та астрономії.

СИМЕТРІЯ В СУЧАСНИХ ФІЗИЧНИХ ТЕОРІЯХ: ФІЛОСОФСЬКИЙ АСПЕКТ

У статті аналізується принцип симетрії, який покладено в основу сучасних фізичних теорій. Симетрія виявляє взаємозв'язок фізичних законів, спрощує розуміння складних процесів, що протікають у мікросвіті.

Ключові слова: *симетрія, суперсиметрія, гармонія, сучасні фізичні теорії.*

Концепція симетрії функціонує як загальний закон структури фундаментальних фізичних теорій, які охоплюють всі форми руху матерії і всі процеси і явища в природі. У сучасній фізиці виявлено певний взаємозв'язок фізичних законів і принципів симетрії. Можна розглядати симетрію як основу опису об'єктів та процесів, як у макро-, так і в мікросвіті. Особливо актуальні питання, пов'язані з теорією симетрії в сучасних фізичних теоріях, заснованих на об'єднанні фундаментальних взаємодій. Річ у тому, що в сучасній теорії елементарних часток концепція симетрії відіграє дуже важливу роль. Симетрія розглядається як чинник, що визначає існування різних груп і сімейств елементарних часток. Проте в сучасному філософському дискурсі не приділяється належної уваги аналізу симетрії і її ролі в постнекласичній науці. Кажучи про ступінь розробленості

проблеми, піднятої в даній статті, необхідно відзначити, що існує коло робіт, присвячених аналізу симетрії в математичних побудовах, це, перш за все, праці Г. Вейля [1], Е.Б. Вінберга [2], світоглядні питання в контексті теорії симетрії розглянуті Р.М. Ганієвим [4], проблеми симетрії у фізиці присвячені роботи Дж. Еліота, П. Добера [6], Е. Вігнер зачіпає найважливіші проблеми філософського і природничонаукового характеру, пов'язані з симетрією [3], В.С. Ярош аналізує симетрію, як об'єднуючу мікро- і макрокосмос теорію [9].

Під симетрією в широкому сенсі розуміють властивість об'єкта мати деяку правильність форми, незмінність її при дії рухів і віддзеркалень. У пропорції і відповідності виявляються кількісні стосунки між частинами цілого та цілим. У давньогрецькій філософії симетрія, пропорція були необхідною умовою гармонії і краси. Платон бачить джерело гармонії в музиці. У старогрецькій філософії гармонія найчастіше визначається як відповідність частин, злиття різних компонентів об'єкта в єдине ціле. Перша спроба теоретичного осмислення гармонії здійснена Піфагором. Для нього гармонія виступає числовою структурою, яка організовує і структурує речі, робить їх пізнаваними, виступає універсальним принципом всього буття, що оформлюється у вченні про так звану «гармонію сфер». Згідно з цим ученням, космос — це музичний інструмент, а рух небесних світил здійснюється довкола центрального світового вогню, самі небесні світила розташовані по відношенню один до одного у такій же пропорції, як і інтервали між звуками в октаві, тому вони створюють прекрасну музику. Таким чином увесь світ виявляється гармонійно влаштованим і музично звучним тілом.

Ідея про гармонійний, упорядкований всесвіт зовсім не стороння сучасним ученим. Сьогодні людина також отримує естетичну насолоду від споглядання космосу. Уявлення про світову космічну гармонію покладені в основі сучасної теорії струн, згідно якої вся речовина складається з тонких невидимих струн. Речовина у всесвіті виникає з них подібно до музики.

Можливо, що підсвідоме прагнення бачити навколишній світ гармонійним є одним з важливих евристичних спонукальних мотивів, який допомагає будувати «красиві, гармонійні» теорії. Б. Грін у книзі «Елегантний Всесвіт. Суперструни: прихована розмірність і пошуки остаточної теорії» принципу краси і симетрії відводить центральну роль у науковому пізнанні. З точки зору Б. Гріна, теорія струн, яка відповідає вимогам краси, гармонії і простоти є найдосконалішою сучасною теорією, що описує структуру реальності. «Краса і потенційна потужність теорії струн приваблювали дослідників подібно до золотого скарбу, надійно замкненого в сейфі, бо його можна побачити лише через крихітне віконце, але ні у кого не було ключа, який випустив би ці сили, що дримали, на свободу» [5, с.84]. Симетрія заснована на подібності. Вона означає таке співвідношення між елементами, фігурами, коли вони повторюють і врівноважують одне одного. У математиці під симетрією мається на увазі поєднання частин фігури при переміщенні її відносно вісі або центру симетрії. Існують різні види симетрії. Принципи симетрії широко використовуються не лише в математиці і фізиці, але і у біології, хімії, мистецтві. Принципи симетрії у фізиці дозволяють знаходити у фізичних теоріях красу, витонченість, елегантність. «Більшість фізиків відзначають, що не дивлячись на свою складність, у фізиці багато гармонії, витонченості, краси. І не останню роль в цьому відіграє симетрія. Симетрія не лише займає важливе місце у фізиці, але і посідає все зростаючу роль у сучасних фізичних дослідженнях» [6, с.11]. Окрім естетичного чинника, принципи симетрії грають евристичну роль, спрямовуючи наукові дослідження, значно спрощують розуміння складних процесів, дозволяючи об'єднати різні, здавалося б несумісні теорії. «Вивчення симетрії сприяє встановленню єдності фізики, виявляючи схожість між її різними галузями» [6, с.11]. Особливо корисна симетрія при вивченні мікросвіту: «квантова механіка, якою доводиться користуватися на мікроскопічному

рівні, будучи значно складнішою класичної, більшою мірою спрощується при використанні симетрії» [6, с.12].

Яка основна ідея принципу симетрії? Вивчаючи симетрію фізичних систем, «ми розглядаємо їх поведінку при різних перетвореннях, наприклад, якщо частка рухається прямолінійно в полі з потенціалом $v(x)$, то цей потенціал може мати дзеркальну симетрію відносно початку координат, тобто задовольняти рівності $v(-x)=v(x)$. У такому разі говорять, що потенціал інваріантний відносно перетворення, замінюючого x на $-x$. Коли ж частка рухається в трьох вимірах, це можна записати у сферичних полярних координатах: $v(r)$. Такий потенціал інваріантний відносно будь-якого перетворення, що полягає в повороті на довільний кут довкола довільної вісі, що проходить через початок координат (число таких перетворень безмежне!)» [6, с.12]. Математичний апарат, який використовують фізики при вивченні симетрії, називається теорією груп. Вивчаючи симетрію фізичних систем, розглядається поведінка їх при різних перетвореннях. Можна виділити «найважливіші наслідки існування симетрії в квантовомеханічних системах: 1) закони збереження; 2) простота перетворення власних функцій при операції симетрії і існування для них симетричного індексу, не залежного від приватного вигляду гамільтоніану; 3) правила відбору; 4) співвідношення між матричними елементами спостережуваних величин» [6, с.19]. Основна причина відмінностей між роллю інваріантності в квантовій теорії і класичній механіці в тому, що «безліч полягань в квантовій теорії набагато ширша, ніж в класичній. Крім того, в квантовій теорії існує принцип суперпозиції, який визначає структуру сильно розширеної множини станів, і саме принцип суперпозиції дозволяє ці стани описувати» [3, с.14]. Принципи симетрії використовуються в об'єднуючих фізичних теоріях. Проте слід зазначити, що Теорія великого об'єднання, заснована на принципах симетрії, знаходиться у стадії розробки. «Роль принципів інваріантності (принаймні, у фізиці) ще не

вичерпана, і ми доки дуже далекі від «універсального закону природи». Ми далекі від нього, якщо він дійсно існує, і якщо перефразувати вислів Пуанкаре, то сучасна картина світу з її чотирма або п'ятьма різними типами взаємодій з властивостями, що сильно відрізняються, не така, щоб людський розум міг із задоволенням споглядати її. Це дає нам підставу чекати, що принципи інваріантності, закони природи, і в майбутньому стануть нам дороговказними нитками і сприятимуть уточненню і об'єднанню наших знань про неживий світ» [3, с.43].

Об'єднуючі теорії в сучасній фізиці можна розглядати, як становлення нової парадигми в науці, прагненням побудувати єдину фізичну картину світу, у фундаменті якої лежить синтез релятивістської і квантової ідей, ідея можливості побудови єдиної теорії всіх фундаментальних взаємодій. При цьому, симетрія в нових об'єднуючих теоріях грає фундаментальну роль, тому що «симетрія — це така особливість природи, про яку прийнято говорити, що вона фундаментальна, охоплює всі форми руху і організації матерії» [8, с.8]. Проте не слід охарактеризовувати симетрію у фізиці лише з естетичним потенціалом, річ у тім, що у фізиці поняття симетрії має дуже конкретний і точний сенс, оскільки, акуратно застосовуючи поняття симетрії в математичній формі, «фізики змогли розробити теорії, в яких частки речовини і частки, які передають взаємодію, переплетені тісніше, ніж це вважалося раніше. Подібні теорії, об'єднуючі не лише взаємодії, що існують в природі, але і матеріальні компоненти, мають максимально можливу міру симетрії. З цієї причини такі теорії отримали назву суперсиметрій» [5, с.101].

Сучасна теорія суперструн, що претендує на звання стати об'єднуючою всі чотири фундаментальні взаємодії теорією, побудована на моделі суперсиметрії. Що таке суперсиметрія? Суперсиметрія — це теорія, що зв'язує бозони і ферміони в природі (можна сказати, що перетворення суперсиметрії може переводити речовину у взаємодію (або у випромінювання),

і навпаки). Суперсиметрія має дуже важливі наслідки, оскільки вона забезпечує об'єднання з гравітацією (локальна суперсиметрія є теорією гравітації); приводить до об'єднання сильних, слабких і електромагнітних взаємодій (теорія Великого об'єднання); вирішує проблему ієрархій (одночасне існування великих і малих масштабів); створює недостатню темну матерію у Всесвіті. Суперсиметрія забезпечує теорії суперструн несуперечність і стійкість. Суперсиметрія «позбавляє нас від необхідності детальної підгонки параметрів стандартної моделі для подолання ряду тонких проблем в квантовій теорії... на нікчемно малих відстанях суперсиметрія змінює інтенсивність трьох негравітаційних взаємодій в точності так, щоб вони могли злитися в одну велику об'єднану взаємодію» [5, с.108]. Первинний варіант теорії струн, початок якого в роботі Венеціано в кінці 1960 х рр., містив всі види симетрії, але не включав суперсиметрію (яка у той час ще не була відкрита). «Ця перша теорія, що базувалася на концепції струн, називалася теорією бозонних струн. Слово бозонна вказує на те, що всі моди коливань бозонної струни володіли цілочисельним спином: у цій теорії не було ферміонних мод, тобто мод, спин яких відрізнявся б від цілого числа на половину одиниці» [5, с.109]. Проте це призводило до двох проблем: якщо призначенням теорії струн був опис всіх взаємодій і всіх видів матерії, вона повинна була якимсь чином уключати ферміонні моди коливань, оскільки всі відомі частки речовини мають спин $\frac{1}{2}$; і друга проблема полягала в тому, що в теорії бозонних струн існувала ще одна мода коливань, маса якої (або, точніше, квадрат маси) була відмінною, — так званого тахіона. «У 1971 р. П'єр Рамон з університету штату Флоріда прийняв виклик і модифікував теорію бозонних струн, уключивши в неї ферміонні моди коливань. Його робота і результати, отримані пізніше Шварцем і Андре Невье, поклали початок новій версії теорії струн. У цю нову теорію бозонні і ферміонні моди коливань входили парами. Для кожної бозонної моди існувала відповідна ферміонна, і навпаки. До 1977 р. роботи Фердінандо Льюцци

з університету Туріну, а також роботи Шерка і Девіда Оліва з Імперського коледжу показали дійсний сенс цього групування в пари. Нова теорія струн уключала суперсиметрію, і те, що бозонні і ферміонні моди входили парами, було віддзеркаленням високої міри симетрії цієї теорії. У цей момент народилася теорія суперсиметрії струн — теорія суперструн. Роботи Льюїса, Шерка і Оліва дали ще один дуже важливий результат: вони показали, що тахіона мода коливань бозонних струн, яка викликала занепокоєння, не властива суперструнам. Частини конструкції теорії струн поступово ставали на свої місця» [7, с.109]. Нова симетрія у фізиці отримала назву суперсиметрії. Вона стверджує, що при перестановці бозонних і ферміонних часток фізичні закони повинні залишатися незмінними. Це ніби дзеркальне віддзеркалення природи, при якому ферміони перетворюються на бозони, а бозони — у ферміони. Пошук різних проявів суперсиметрії в природі — одне з головних завдань багаточисельних експериментів на сучасних прискорювачах часток. Симетрія закладена в основі всіх фундаментальних законів фізики: закону збереження імпульсу як наслідку однорідності простору; закону збереження моменту імпульсу як наслідку ізоотропії простору; закону збереження енергії як наслідку однорідності часу; закону збереження швидкості центру мас (наслідок ізоотропії простору-часу).

Безпосередньозсиметрією пов'язано поняття «дуальності». Різні типи дуальностей зв'язують воедино декілька різних типів теорії струн, які поширюються в різних фонових полях. Ідея дуальності в контексті теорії поля дозволяє пов'язати теорії в «електричному» та «магнітному» формулюванні. Якщо дві теорії пов'язано між собою перетворенням дуальності (дуальним перетворенням), це означає, що першу з них можна перетворити деяким чином так, що одна з її меж буде виглядатиме як друга з цих теорій (тоді говорять, що ці дві теорії дуальні одна по відношенню до другої під дією цього перетворення). Пов'язаний з принципом суперсиметрії калібрувальний

принцип виступає найважливішим методологічним принципом у сучасній фізиці. Калібрувальний принцип визначає, що загального мають електромагнетизм і ядерні взаємодії. Вимога калібрувальної інваріантності — одна з ключових положень сучасної фізики елементарних часток. Саме через калібрувальну інваріантність вдається самоузгодженим чином описати в Стандартній моделі електромагнітну, слабку і сильну взаємодії. Абсолютно аналогічно можна ввести і калібрувальні перетворення складнішого вигляду, що відповідають за інваріантність в деякому складнішому просторі внутрішніх мір свободи. Так, наприклад, інваріантність відносно обертань кварків в колірному просторі приводить до того, що сильні взаємодії теж можна описати як калібрувальні поля.

Таким чином, принцип симетрії як методологічний принцип, лежить у підставі різних фізичних теорій і визначає структурну організацію сучасної фізичної теорії як цілого. Первинний сенс симетрії (як відповідність, схожість, подібність, порядок, ритм) артикулюється в сучасній науці у вигляді узгодження частин в цілісній структурі. Симетрія і структура нерозривно пов'язані.

С.В. Ілларіонов і О.А. Мамчур виділяють наступні основні функції принципів симетрії у фізичному пізнанні: організуюча, обмежувальна, уніфікуюча. Організуюча функція маніфестує «включення менш загальних структурних відношень у загальніші» [8, с.174]. Обмежувальна функція має два аспекти — гносеологічний і онтологічний. «У гносеологічному плані принципи симетрії служать своєрідними правилами відбору рівнянь, які висуваються, та гіпотез» [8, с.174]. В онтологічному плані обмежувальна функція принципів інваріантності полягає в тому, що принципи вичленують такі стани, які фізично можуть реалізуватися зі всіх логічно можливих станів: фізично реалізуватися можуть стани, інваріантні відносно групи перетворень, яка лежить у підставі теорій» [8, с.174]. Виділення уніфікуючої функції пов'язано з тим, «що

принципи симетрії виконують роль однієї з підстав тенденції фізичного знання до єдності» [8, с.177]. «Уніфікуюча функція принципів симетрії стає особливо очевидною, якщо зіставити її з тією роллю, яку грають у фізичному пізнанні порушення симетрії. Відомо, що всі симетрії фізики елементарних часток є порушеними. І порушення симетрії грають самостійну роль в теоретичній реконструкції світу елементарних часток, оскільки на противагу симетріям, які служать підставою для пошуку єдності в різноманітті часток, порушення симетрії відповідальні саме за само різноманіття» [8, с.178].

Принцип симетрії став одним з найважливіших методологічних принципів теоретичного природознавства, здатним організувати надиндивідуальний сенс за допомогою математичного формалізму і категоріального апарату нового знання. Отже, принцип симетрії також артикулює людські сенси, потенційно містить в собі нові дослідницькі програми для інших наук. Його загальний статус визначається широким пізнавальним і соціокультурним контекстом. Сучасний постнекласичний етап розвитку науки в цілому характеризується формуванням нових методологічних концепцій, а також інтенсивним пошуком і розробкою нових наукових методів на основі аналізу та синтезу методологічних принципів, які складають теоретичне вираження наукового методу. Методологічні принципи грають важливу роль в науковому пізнанні. Вони виконують методологічну функцію в процесі зростання наукового знання. Загальною для принципів є їх незмінність як початкової посилки, а також те, що вони визначають і зберігають подобу теорії, її вміст, специфіку логічного руху думки. Принцип симетрії як методологічний принцип викристалізовувався у науковій теорії і придбав статус «загальнометодологічного» тому, що його внутрішній вміст і методологічні функції абстрагуються настільки, що стають загальними для всього природознавства. Серед інших факторів, величезну роль в цьому зіграло те, що сама абстрактна форма представлення терміну

«симетрія» і його смислове навантаження дозволяє використувати його в широкому спектрі наукового знання.

Таким чином, симетрія, витоки розуміння якої лежать у глибокій давнині, як принципу краси і гармонії, структурує об'єктивні знання, визначає причетність буття суб'єкта буттю досліджуваного об'єкту, єдності світу, гармонії з Всесвітом, а також формує і організовує канву і вміст сучасного наукового знання. Процес побудови усе більш загальних теоретичних систем фізичного пізнання реального світу, свідками якого ми є, можна умовно розділити на два напрями: розвиток квантоворелятивістської фізики у вигляді єдиних теорій поля, об'єднуючих елементарні частки і їх взаємодії, а другий — становлення нової фізики, яка вимагає філософського і методологічного аналізу створюваних теоретичних конструкцій.

Література

1. *Вейль Г.К.Х.* Классические группы. Их инварианты и представления / Г. К. Х. Вейль ; [пер. с англ. Д.А. Райков]. — Изд. 3-е, стер. — М. : URSS; КомКнига, 2007. — 406 с.
2. *Винберг Э. Б.* Симметрия многочленов / Эрнест Борисович Винберг. — М. : Издательство Московского центра непрерывного математического образования, 2001. — 24 с. — (Библиотека «Математическое просвещение»; Вып.11).
3. *Вигнер Е.* Этюды о симметрии / Е. Вигнер ; [пер. с англ. Ю.А. Данилов]. — М.: «МИР», 1971. — 318с.
4. *Ганиев Р.М.* Групповая симметрия в множестве мировоззренческих высказываний / Роберт Маликович Ганиев. — Владикавказ: Северо-Осетинский гос. ун-т им. К.Л.Хетагурова, 2001. — 108 с.
5. *Грин Б.* Элегантная Вселенная. Суперструны, скрытые размерности и поиски окончательной теории / Б. Грин; [Пер. с : англ.]. — М. : URSS ; КомКнига, 2007. — 286 с.
6. *Элиот Дж.* Симметрия в физике / Дж. Элиот П. Добер; Соч. в 2-х т. — Т.1. — М : Мир, 1983. — 364 с.

7. *Илларионов С.В.* Принципы симметрии в физике элементарных частиц /С.В. Илларионов, Е.А. Мамчур // *Философские проблемы физики элементарных частиц (тридцать лет спустя)* / Отв. ред. Ю.Б. Молчанов. — М. : РАН, 1994. — 217с. — С. 167-199.
8. *Урманцев Ю.А.* Симметрия природы и природа симметрии / Ю.А. Урманцев. — М.: Мысль, 1974. — 229 с.
9. *Ярош В.С.* Единая симметрия микро- и макрокосмоса. Прогноз фундаментальных изменений в науке о физическом пространстве / Всеволод Сергеевич Ярош. — М. : Лев, 2001. — 35 с. : [рис. — Библиогр.: с. 34–35].

Владленова И.В. Симметрия в современных физических теориях: философский аспект

В статье анализируется принцип симметрии, который лежит в основе современных физических теорий. Симметрия обнаруживает взаимосвязь физических законов, упрощает понимание сложных процессов, протекающих в микромире.

Ключевые слова: симметрия, суперсимметрия, гармония, современные физические теории.

Vladlenova I.V. Symmetry in modern physical theories: philosophical aspect

Principle of symmetry is analyzed in the article. Principle of symmetry is underlaid modern physical theories. Symmetry explains intercommunication of physical laws, simplifies understanding of difficult processes in mikro-world.

Keywords: symmetry, supersimmetry, harmony, modern physical theories.

Надійшла до редакції 7.12.2009 р.