

УДК 1.141.2

DOI: 10.26565/2226-0994-2019-61-3

Валентина Рожковська

ПРОБЛЕМА РЕАЛЬНОСТІ В ТЕКСТАХ НІЛЬСА БОРА

У статті йдеться про нове розуміння реальності, сформоване в ХХ столітті. Оскільки ключовою фігурою в цих змінах став датський фізик Нільс Бор, ми звертаємося до його ранніх і пізніх статей з метою проаналізувати вживання ним терміна «реальність» (reality). За допомогою аналізу відповідних термінів показано, що у своїх ранніх статтях Нільс Бор описує відкриття, які не узгоджуються зі старими уявленнями у фізиці, і саме ці питання в подальшому призведуть до формування нового розуміння реальності. У статті ми також вказуємо, як часто і в яких контекстах вживається термін «reality». Далі, у більш пізніх статтях Нільса Бора ми виявляємо, що термін «reality» зустрічається частіше, ніж в його ранніх роботах (на момент написання ранніх робіт ще не була сформульована копенгагенська інтерпретація квантової теорії). За допомогою аналізу вживання певних термінів ми показуємо, як зсуваються акценти в ранніх і пізніх статтях Нільса Бора. Протягом багатьох років датський фізик прагне уточнити та вдосконалити квантову теорію. Ми, отже, аналізуємо вживання терміна «reality» також і в пізніх статтях Нільса Бора, що допомагає нам встановити, що в деяких пізніх статтях проблематика реальності виходить для нього за рамки суто фізики. Цей аналіз показує, як відкриття Нільса Бора в області природи об'єктів мікросвіту приводять його до питань про природу самої реальності. Те, як відкриття в мікросвіті впливають на нове уявлення реальності, найкраще простежується в полеміці з іншими фізиками. Як найбільш яскравий приклад ми взяли статтю «Дискусії з Айнштайном про проблеми теорії пізнання в атомній фізиці». У ній Бор описує специфічну поведінку мікрооб'єктів і особливості фізичних експериментів, а також відстоює ідею про те, що необхідним є введення принципово нового (також і в онтологічному плані) розуміння фізичних процесів. Аналіз термінів показує, що сама реальність, з погляду Бора, є такою, як її описує квантова механіка. Ми прагнемо показати еволюцію поглядів Бора в контексті того, як вони вплинули на перегляд засад всієї фізики та на людські уявлення про світ загалом. Ми робимо висновок, що відкриття стаціонарних станів у атома – це перший крок до переосмислення питань філософського характеру.

Ключові слова: реальність, квантова теорія, атом, картина світу.

Відкриття квантової механіки у ХХ столітті призвело до перегляду цілої низки установок, зокрема й філософського характеру. Великий датський фізик Нільс Бор займався не тільки розробкою цієї нової області науки: його цікавила також і відповідь на питання про те, як вона узгоджується з панівною науковою теорією. Він та його колеги створили концепцію, яку згодом назвуть «копенгагенською інтерпретацією квантової теорії». На початку свого наукового шляху Бор займався переважно не настільки глобальними питаннями, його увага була зосереджена на проблемі природи атома. Саме тоді він зробив ряд відкриттів, які змусили його згодом переосмислити всю фізику. З найбільшою повнотою філософська сторона його пошуків представлена в полеміці з А. Айнштайном, яка тривала протягом усього життя Бора. Навіть після того, як квантова механіка знайшла своє підтвердження у вигляді атомної бомби, ці два великих фізики не припиняли суперечки про сенс принципово нової фізичної теорії. У цій статті ми прагнемо представити на прикладі вживання Нільсом Бором поняття «reality» поступові зміни його поглядів на природу фізичної реальності як такої. Ми спробуємо показати, як відбувався в роботах датського фізика перехід від чисто фізичних питань до питань про природу реальності, що мають філософський характер.

© Рожковська В. М., 2019.



This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0.

Мета статті: розкрити розуміння реальності Нільсом Бором на основі вживання терміна «реальність» (і однокореневих до нього слів) у його роботах. У зв'язку з цим нашим завданням є провести аналіз використання даного терміну в текстах датського вченого.

Стосовно ступеня розробки даної проблематики слід зауважити, що література, присвячена Бору, зосереджена переважно на проблемах фізики. У цьому відношенні особливий інтерес представляють статті радянських дослідників та їхній інтерес до вчення Нільса Бора. Радянські дослідники змушені були розглядати теорію датського фізика насамперед з філософських позицій через відмінності в ідеологічних підходах. У Радянському Союзі не могли прийняти квантову теорію в повному обсязі, оскільки низка її вихідних установок не відповідала марксистсько-ленінській картині світу. Тому автори, які жили в СРСР, були особливо чутливими саме до філософських підстав квантової механіки і насамперед до питання про те, якою є природа матеріального світу. Прикладом такого підходу можуть слугувати стаття А. І. Верховзіна «Інтерпретація квантової механіки», стаття Ю. І. Мірошникова «А. Айнштайн і Нільс Бор: два романтики в пошуках втраченої єдності фізичного знання», стаття А. Б. Макарова «Принцип додатковості Н. Бора і проблема його статусу», стаття А. А. Печенкіна «Обґрунтування наукової теорії» та інші.

Зокрема в роботі Ю. І. Мірошникова автор пише про те, що ми маємо справу з переосмисленням поняття «реальність» (відзначимо, що Ю. І. Мірошников є філософом). У статті «А. Айнштайн і Нільс Бор: два романтики в пошуках втраченого єдності фізичного знання» він пише: «Недоступність широкому загалу нового розуміння фізичної реальності полягала не тільки в складному математичному апараті, без якого тепер не можна було кроку ступити у фізиці, але й у висунутих Айнштайном і Бором принципах, свідомо протиставлюваних здоровому глузду й повсякденному досвіду людей» [Мірошников, 2011, с. 202]. Звернемо увагу, що незважаючи на принципову полеміку, автор позначив цих двох дослідників як людей, які вводять нове розуміння реальності.

У рамках даної роботи нас насамперед цікавить проблема розуміння фізичної реальності. Але щоб наблизитися до неї, ми будемо виходити не з загальних положень, а обмежимося аналізом вживання цього терміна Нільсом Бором у його працях. Не маючи можливості проаналізувати абсолютно всі роботи Бора, ми виберемо лише деякі, які видаються нам найбільш показовими. Це дві статті раннього періоду: «Atomic Structure» («Структура атома», 1921 рік) і «Theory of Spectra and Atomic Constitution» («Теорія спектрів і будова атома», 1922 рік), а також «Discussion with Einstein on Epistemological Problems in Atomic Physics» («Дискусії з Айнштайном про проблеми теорії пізнання в атомній фізиці», 1949 рік). Відзначимо, що для розуміння ідей Бора цікавою також є збірка робіт, написаних з 1958 по 1962 рр. «Atomic Physics and Human Knowledge» («Атомна фізика і людське пізнання»), але іменник «реальність» (reality) у ній не зустрічається.

Щоб прояснити питання про те, як розвивалися погляди датського фізика, почнемо з аналізу ранньої роботи «Структура атома» («Atomic Structure») 1921 року. У статті вживається іменник «реальність» (reality) два рази і прикметник «реальний» (real) – один. Ми знаходимо все три вживання на самому початку статті. «Структура атома» – невелика за обсягом робота, написана до того, як квантова теорія була повністю сформульована. Проте на той час науковий світ знав про розробки Бора в області природи атома. Уже з 1912 року датський фізик, спираючись на експериментальний доробок Е. Резерфорда, працював над статтею, опублікованою в трьох частинах у «Philosophical Magazine» [Мур, 1969, с. 89]. З цього моменту вчені розділилися на прихильників поглядів Бора і його супротивників.

Згадана нами стаття «Структура атома» є відповіддю на лист Кемпбелла в журналі «Nature» [Campbell, 1921, pp. 104–107]. Стаття має полемічний характер, оскільки Кемпбелл не погоджувався з ідеями датського фізика щодо питання будови атома. Наведемо один фрагмент: «Dr. Campbell puts forward the interesting suggestion that the apparent inconsistency under consideration may not be real, but rather appear as a consequence of the formal character

of the principles of quantum theory, which might involve that the pictures of atomic constitution used in explanations of different aspect, and nevertheless refer to the same reality» [Bohr, 1921]. Для аналізу дамо наш переклад фрагмента: «Д-р Кемпбелл висуває цікаве припущення, що явна невідповідність, яка розглядається, може не бути реальною, а радше є наслідком формального характеру принципів квантової теорії, яка може включати в себе те, що картини атомної будови, які використовуються в поясненнях різних аспектів, відносяться, втім, до однієї і тієї ж реальності»¹. З аналізу цих слів ми можемо отримати лише непряме уявлення про думки самого Бора, тому що в них наведені аргументи його опонента.

Проаналізуємо цей уривок. За словами Кемпбелла, квантова механіка містить певну «невідповідність» (або ж «неспроможність» у перекладі А. М. Френка). Йдеться про концепцію поведінки атома відповідно до моделі, створеної Нільсом Бором. Згідно з цією моделлю, у атома існують так звані «стаціонарні стани»: коли електрони перебувають у стаціонарних станах, їхню поведінку можна описати законами класичної фізики. Бор припустив, що в цьому стані електрон не випромінює і не поглинає енергію (що не вкладається в розуміння класичної фізики). Перехід електронів з однієї орбіти на іншу (тобто з одного стаціонарного стану в інший) має бути описаний за законами квантової механіки. Бора цікавило питання про те, чому електрони не падають на атомне ядро. Запропонована модель дає відповідь на це питання. А також вона привела датського фізика до висунення нового принципу в науці, зокрема, принципу відповідності. Цей принцип дозволяє поєднувати (а не протиставляти) закони класичної та некласичної фізики в одній моделі. Дві системи доповнюють одна одну і дозволяють описувати атом (реальність) більш точно й повно. Висловлюючись словами Бора, принцип відповідності «встановлює внутрішній зв'язок між характером руху в стаціонарних станах атомної системи і можливістю переходу між двома такими станами; цим він створює основу для теоретичного розгляду процесу, який має місце при утворенні та перебудові атома» [Бор, 1970, с. 288].

З погляду опонента Бора, Кемпбелла, подібна «невідповідність» (тобто опис того самого об'єкта в двох системах) – це результат формального характеру самої квантової теорії. Тобто це дві різні мови опису, але не більше того. Кемпбелл стверджує, що не сама реальність (або природа атома) змушує нас описувати її в двох системах. Бор, як зрозуміло з усієї статті, не згоден з цією тезою. З його слів зрозуміло: для Бора – сама природа атома обумовлює таку модель, яку запропонував датський фізик.

Ще один фрагмент, у якому присутній термін «реальність» підтверджує нашу думку: «But, on the other hand, the fact that it has been possible to establish an intimate connection between the spectrum emitted by an atomic system – deduced according to the quantum theory on the assumption of a certain type of motion of the particles of the atom – and the constitution of the radiation, which, according to the theory of electromagnetism, would result from the same type of motion, appears to me to afford an argument in favour of the reality of the assumptions of the spectral theory of a kind scarcely compatible with Dr. Campbell's suggestions»² [Bohr, 1921]. Варто звернути увагу на вказівку на квантову теорію в одному

¹ Також наведемо російськомовний переклад А. М. Френка: «Кэмпбелл выдвигает интересную мысль, что рассматриваемая кажущаяся несостоятельность в действительности не имеет места, что она является следствием формального характера принципов квантовой теории; это может создать ложное представление, будто картины строения атома, использованные при объяснении различных явлений, могут иметь совершенно различный аспект и тем не менее относится к той же действительности» [Бор, 1970, с. 285]. Відзначимо, що перекладач використовує для «reality» слово «дійсність», а не «реальність», мабуть, не розрізняючи їх у цьому контексті.

² «Але, з іншого боку, той факт, що з'явилася можливість встановити тісний зв'язок між спектром випромінювання атомної системи – що встановлюється, відповідно до квантової теорії, з припущення про певний тип руху частинок в атомі – і структурою випромінювання, яка, згідно зі звичайною електромагнітною теорією, є результатом руху того ж типу, мені видається аргументом на користь реальності припущень теорії спектрів, навряд чи сумісної з припущеннями Кемпбелла» [Бор, 1970, с. 285–286].

випадку і на «звичайну електродинамічну» – в іншому. Ми бачимо застосування принципу відповідності на практиці. Те, що Кемпбелл назвав «неспроможністю»/«невідповідністю», Бор вважає коректним описом реальності. У цьому уривку йдеться про взаємодію двох систем. Спектр випромінювання описується в рамках квантової теорії, а структура випромінювання – у рамках електромагнітної теорії. Результатом останньої є «рух того ж типу». Експерименти підтверджують коректність обчислень Бора. Теорія спектрів відкриває Бору стан справ (реальність), який не можна пояснити, використовуючи тільки класичну фізику. Надалі ж вчений мовою фізики пояснює читачеві, що його підхід є виправданим. Центральна проблема – це проблема спектрів. Бор стверджує, що в подальшому саме це питання допоможе в розвитку його ідей для пояснення інших властивостей елементів. Хоча Н. Бор у даній статті вживає поняття «реальність» всього двічі, можна майже з упевненістю зробити висновок, що він розуміє під ним природу атома, інакше кажучи, уявляє атом таким, яким він є в своїх діях. У цьому сенсі значення терміна «reality» залишається у Бора фізичним: реальність – це об'єктивні властивості зовнішнього для спостерігача фізичного світу.

Це розуміння реальності цілком відповідає традиційному, яке існує ще з часів Канта і переважало в науці ХІХ століття. Проблема, однак, полягала в тому, що атом не може бути предметом безпосереднього спостереження. Його природа і його поведінка можуть стати предметом дослідження лише опосередковано – через інші явища й прилади (наприклад, камеру Вільсона). На думку творців квантової механіки, і насамперед самого Бора, такий стан справ вимагає іншої методологічної установки: ми не в праві приписувати (домислювати) атому поведінку, подібну до поведінки речей у зовнішньому світі, що спостерігається нами, натомість нам слід фіксувати феномени, доступні для нашого спостереження (наприклад, спектри), і давати їм інтерпретацію (якою б дивною вона не здавалася), виходячи тільки з них самих. Не можна довільно відбирати одні феномени і відкидати інші, «підганяючи» висновки під наявні у нас уявлення. Подібна установка вела до парадоксальних висновків щодо природи атомів і електронів, які не узгоджуються з уявленнями про поведінку матеріальних тіл в класичній механіці, але Бор наполягав на принципах точності фіксації та інтерпретації, що поступово, але неухильно вело його до усвідомлення особливої реальності об'єктів мікросвіту, а отже й до нового розуміння реальності світу загалом (про що він спочатку навіть не ставив питання).

Підтвердженням важливості проблеми спектрів для розуміння природи атома є стаття «Теорія спектрів і будова атомів», написана роком пізніше, у 1922-му. Вже з назви стає зрозуміло, що можливість осягнення того, як влаштований атом, лежить у тлумаченні даних, представлених спектральним аналізом. Загалом же основні думки статті розвивають логіку попередньої. Як і «Будова атома», ця робота стосується виключно проблеми природи атома. Стаття поділена на кілька нарисів. На початку першого нарису Нільс Бор стверджує, що класична електромагнітна теорія не дає можливості пояснити закон температурного випромінювання атомів. Для цього йому необхідно інше пояснення.

Як стало зрозуміло з попередньої статті, Бор вважає за можливе використовувати електромагнітну теорію при описі атома, але обмежує сферу її застосування. У цій роботі він вказує, що вона не все пояснює або, інакше кажучи, не охоплює всю реальність. Бор вказує, що електромагнітна теорія коректна при використанні коливань довгих хвиль. При дослідженні малих хвиль результати суперечать експерименту. З цього Бор робить висновок: «We are therefore compelled to assume, that the classical electrodynamics does not agree with reality, or expressed more carefully, that it can not be employed in calculating the absorption and emission of radiation by atoms»³ [Bohr, 1922, p. 6]. Вчений вже вказував у попередній статті, що електромагнітна теорія може бути застосована до атома, коли той перебуває в стаціонарному стані. При переході електрона з однієї орбіти на іншу

³ «Тому ми повинні припустити, що класична електродинаміка не узгоджується з реальністю, або висловлюючись більш обережно, що вона не може бути використана при розрахунку поглинання і випускання випромінювання атомами» (переклад наш. – В. Р.).

Нільс Бор прагне шукати пояснення іншого роду. Для нього надзвичайно важливо довести наявність у атома цих самих особливих стаціонарних станів. Як ми бачимо, саме вони дозволяють говорити Бору про «нову» реальність, яка протистоїть або не відповідає наявній теорії.

В іншому уривку ми знаходимо, що він описує процес іонізації та доводить, що іонізація виникла в результаті фотоелектричного випромінювання. Бор робить висновок: «These experiments provide a direct and independent proof of the reality of the distinctive stationary states, whose existence we were led to infer from the series spectra»⁴ [Bohr, 1922, p. 35]. Звернемо увагу, що в цьому фрагменті питання про реальність також пов'язане з питанням про теорію спектрів. Це підтверджує нашу тезу про те, що відкриття Бором стаціонарних станів у атома дає йому можливість говорити про інший, «новий» рівень реальності. Інакше кажучи, Бор виявляє поведінку атома, яку не в змозі ані описати, ані пояснити стара теорія (закони класичної фізики); і цю поведінку та природу атома він і називає «реальністю».

Наприкінці статті Бор розмірковує про відповідність висунутих ним гіпотез різним сферам і середовищам. У такий спосіб він поступово підходить до загальнотеоретичних питань ще не створеної квантової механіки, а також до проблеми досліджень фізичних сутностей різного рівня – мікро- та макросвіту. Але вже 1922 року фізик був переконаний, що головне питання лежить у природі стабільного стану атома. Йдеться про те, що утворення стабільного стану атома відбувається за рахунок послідовного захоплення електронів. Він пише: «These investigations contain without doubt important hints, but in reality the conditions must be very different for the different alkali spectra»⁵ [Bohr, 1922, p. 97]. Тут «in reality», найімовірніше, означає лише «насправді», але й в цьому разі йдеться про дійсний стан речей на противагу тому, що описує класична фізика. Проте датський фізик водночас усвідомлює наявність певної проблеми. Справа в тому, що застосування квантової теорії до стаціонарного стану атома не пояснює того факту, що після порушення стаціонарного стану атом здатний до реорганізації самого себе. Бор стверджує, що саме питання про реорганізацію атома є ключовим, і саме його розв'язання покаже, наскільки реальним є передбачуваний теорією датського фізика підхід, тобто чи відповідає він стану речей у світі. Бор переконаний, що в подальшому буде визнана правильність того, що потім отримає назву «квантової теорії поля». Але на даному етапі ця теорія ще тільки знаходить свої специфічні риси та вимагає розробки.

Отже, можна зробити висновок, що до 1922 року Нільс Бор вже виявив відмінність між дійсним станом речей у мікросвіті, що відкривається на основі експериментів, і науковою картиною світу, яку може запропонувати наявна на той момент фізична теорія. Саме дійсний стан справ у фізичному світі він називає «реальністю». Для її опису потрібна нова теорія, тому «реальність» у Бора протистоїть логічній на той момент «реальності» класичної фізики. У цей період його увага прикута до природи атома. Але вже до 1922-го року з його слів можна зрозуміти, що для нового опису реальності потрібні дві системи понять. Перша (класична) описує атом у стаціонарному стані та є окремим випадком квантової теорії. Квантова теорія є необхідною для опису атома при переході з одного стаціонарного стану в інший. Спільно вони дають більш повну картину реальності, аніж класична система окремо.

Фізик протягом усього життя займався розробкою квантової теорії. У пізніх роботах Бора ми виявляємо, що його інтереси дедалі більше переключаються з проблем фізичного на проблеми філософського характеру. Показовою в цьому відношенні є його стаття, написана 1949 року, а саме «Discussion with Einstein on Epistemological Problems in Atomic Physics» («Дискусії з Айнштайном про проблеми теорії пізнання в атомній фізиці»). Вона

⁴ «Ці експерименти забезпечують прямий і незалежний доказ реальності відмінних стаціонарних станів, чіє існування було виведено нами з ряду спектрів» (переклад наш. – В. Р.).

⁵ «Ці дослідження без сумніву містять важливі підказки, але в реальності умови повинні сильно відрізнятися для різних лужних спектрів» (переклад наш. – В. Р.).

була спеціально написана для тому «Living Philosophers» («Сучасні філософи») та присвячується реконструкції багаторічної суперечки з його знаменитим колегою і другом. У ній Бор цитує свої більш ранні статті та доповіді, а логіку думок Айнштайна відтворює, ґрунтуючись на його статтях «Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality Be Considered Complete?» («Чи можна вважати квантово-механічний опис фізичної реальності повним?»), написаній 1935 року у співавторстві з В. Подольським і Н. Розеном (N. Rosen), і «Physics and Reality» («Фізика і реальність»), написаній 1936 року.

До моменту написання і публікації даного тексту Нільс Бор і його колеги істотно просунулися в розробці квантової теорії. Їхні досягнення вже тоді отримали визнання у світі та стали відомими під назвою «копенгагенська інтерпретація квантової теорії». Як уже зазначалося, Бор на основі експериментів виявив, що в мікросвіті пояснити поведінку елементарних часток законами класичної фізики можна лише частково. Йдеться про те, що при переході електрона з одного рівня на інший неможливо за допомогою законів класичної фізики розрахувати його фізичні параметри. Необхідність на мікрорівні використовувати різні системи понять (оскільки елементарні частки поведінкою по-різному) привела Бора до формулювання ще одного фундаментального положення, а саме – принципу додатковості. Принцип додатковості був введений Бором 1927 року. Він дозволяє використовувати в описі об'єкта мікросвіту дві взаємовиключних (або «додаткових») системи понять. Оскільки об'єкт поводить себе в різних випадках по-різному, Бор приходить до висновку, що поєднання двох цих систем дають найбільш повну картину реальності. Бор стверджує: «While the combination of these concepts into a single picture of a causal chain of events is the essence of classical mechanics, room for regularities beyond the grasp of such a description is just afforded by the circumstance that the study of the complementary phenomena demands mutually exclusive experimental arrangements»⁶ [Bohr, 1949]. Проблема полягає в тому, що в запропонованому методі можна достовірно дізнатися лише один з фізичних параметрів атома, але водночас втрачається достовірність іншого. Це призводить до проблеми в області онтології: «Thus, a sentence like “we cannot know both the momentum and the position of an atomic object” raises at once questions as to the physical reality of two such attributes of the object, which can be answered only by referring to the conditions for the unambiguous use of space-time concepts, on the one hand, and dynamical conservation laws, on the other hand»⁷ [Bohr, 1949].

Варто зазначити, що на користь Бора говорить математична злагодженість його теорії. Тому Бор припускає, що труднощі з розумінням лежать не в невідповідності теорії світові, а в мові. Оскільки термінологічний апарат фізики розроблявся в рамках класичної фізики, його виявляється вкрай проблематично використовувати для мікросвіту. У квантовій механіці розрахунок одного параметра веде за собою втрату достовірності в розрахунку іншого параметра. Можна говорити лише про певний ступінь ймовірності. Але застосування двох «додаткових» систем (і їх математичний розрахунок) дозволяє описати елементарні частки (а отже й реальність) більш повно.

У квантовій теорії існує ще одна проблема онтологічного характеру. Вивчення об'єктів мікросвіту вимагає використання спеціальних приладів. Прилади, зі свого боку, змінюють поведінку об'єкта в момент його пересування, що не дає можливості спостерігачеві дати відповідь на питання, як би поведився об'єкт, якби спостерігач не втрутився в процес його руху. Це змушує Бора зробити висновок про те, що сама реальність змінюється в залежності від того, чи є спостерігач, чи його немає: «Indeed

⁶ «Що стосується закономірностей, які перебувають поза досяжністю такого класичного опису, то місце для них звільняється саме завдяки тому, що вивчення додаткових явищ вимагає взаємовиключних експериментальних установок» [Бор, 1958, с. 578].

⁷ «Так, після фрази: “Ми не можемо одночасно дізнатися положення і кількість руху атомного об'єкта” негайно виникає питання про фізичну реальність двох таких атрибутів об'єкта; а на це питання можна відповісти тільки досліджуючи умови для недвозначного застосування просторово-часових понять, з одного боку, і динамічних законів збереження – з іншого» [Бор, 1958, с. 577–578].

the finite interaction between object and measuring agencies conditioned by the very existence of the quantum of action entails – because of the impossibility of controlling the reaction of the object on the measuring instruments, if these are to serve their purpose – the necessity of a final renunciation of the classical ideal of causality and a radical revision of our attitude towards the problem of physical reality»⁸ [Bohr, 1949]. З часів Канта і до відкриття квантових процесів як у фізиці, так і у філософії панував так званий «закон причинності». Квантова теорія, стверджує Бор, змушує відмовитися від ідеї, що з причини А з необхідністю випливає наслідок Б. Проблема полягає в тому, що, як ми зазначали вище, вимірювання носять імовірнісний характер. Це відкриття було сформульовано колегою та другом Нільса Бора Вернером Гайзенбергом 1927 року і названо «принципом невизначеності». У початковому формулюванні він звучить приблизно так: чим точніше ми можемо виміряти один параметр елементарної частки (координату) тим з меншою ймовірністю ми можемо виміряти інший (імпульс). «Нова реальність» принципово не охоплюється розрахунками зі стовідсотковою ймовірністю. Для Бора це означає лише те, що розроблена класична система понять не підходить для області, що досліджується великим датським фізиком.

Неможливість опису фізичного процесу без втручання й впливу на сам процес стало каменем спотикання в його суперечці з Альбертом Айнштайном з питань фізичної реальності. Аргумент Айнштайна та його прихильників, як його представляє Бор, полягає в тому, що саме неможливість опису процесу без втручання в експеримент не дозволяє говорити про результати як про саму реальність. Бор пише: «Since these conditions constitute an inherent element of the description of any phenomenon to which the term “physical reality” can be properly attached, we see that the argumentation of the mentioned authors does not justify their conclusion that quantum-mechanical description is essentially incomplete»⁹ [Bohr, 1949]. Про що йдеться? Айнштайн вважає, що нова ситуація (обов'язковий вплив приладу на експеримент і відсутність опису з абсолютною точністю) дає підставу вважати, що ми не можемо говорити про опис реальності в повному обсязі. З погляду Бора – навпаки. Коли ми описуємо реальність – ми описуємо всі можливі варіанти поведінки атома: «It is just this entirely new situation as regards the description of physical phenomena that the notion of complementarity aims at characterizing»¹⁰ [Bohr, 1949]. Те, що Айнштайн називає неповним описом реальності, Бор розглядає як опис реальності у всіх її можливих варіантах. Принцип додатковості дозволяє Бору об'єднати кілька систем і стверджувати, що вони дають найбільш об'ємну, цілісну та повну картину реальності.

Отже, аналіз текстів Бора привів нас до *висновку*, що наукові відкриття цього датського фізика змусили його переглянути уявлення про реальність. Спочатку погляди Бора ґрунтувалися на уявленнях XIX століття, згідно з якими реальністю слід вважати, насамперед, даний у досвіді та незалежний від спостерігача фізичний світ. Рух у бік усвідомлення недостатності цього традиційного уявлення про реальність почався з досліджень природи атома. Нільс Бор зіткнувся з тим, що наявні закони не пояснюють поведінку об'єктів мікросвіту. Так, ми знаходимо лише два випадки вживання у статті раннього періоду («Структура атома»), присвяченій полеміці з приводу висунутих

⁸ «Дійсно, скінченність взаємодії між об'єктом і вимірювальним приладом, що обумовлюється самим існуванням кванта дії, тягне за собою – внаслідок неможливості контролювати зворотну дію об'єкта на вимірювальний прилад (а ця неможливість буде неодмінно мати місце, якщо прилад задовольняє своєму призначенню) – необхідність остаточної відмови від класичного ідеалу причинності та радикальний перегляд наших поглядів на проблему фізичної реальності» [цит. за: Бор, 1958, с. 593].

⁹ «Оскільки ці умови складають суттєвий елемент опису будь-якого явища, до якого можна застосовувати термін “фізична реальність”, то ми бачимо, що аргументація згаданих авторів не виправдовує їхні висновки про те, що квантово-механічний опис є істотно неповним» [цит. за: Бор, 1958, с. 593–594].

¹⁰ «Саме цю абсолютно нову ситуацію щодо опису фізичних явищ ми й намагалися характеризувати терміном *д о д а т к о в і с т ь*» [цит. за: Бор, 1958, с. 594].

Н. Кемпбеллом аргументів проти методологічних установок Н. Бора, терміну «reality». Показово, що в тексті статті при описі самих фізичних процесів цей термін не використовується. Дослідження (розглянуті, зокрема, і в цій статті) привели датського фізика до відкриття стаціонарних станів атома, що згодом підштовхне Бора до визнання нового уявлення про реальність, відмінного від наявного. Воно пов'язане з тим, що атом у певних умовах підпорядковується законам класичної фізики, а в інших – ні.

Накопичені за роки досліджень дані привели фізика та його колег до створення концепції, яку згодом назвали «копенгагенською інтерпретацією квантової теорії». Осмислення Бором отриманих наукових даних вимагало виходу не тільки за межі класичної фізики, але й за межі фізики як такої. Наприклад, у дискусіях Нільса Бора з Альбертом Айнштайном (його головним опонентом), суперечка йшла не стільки про фізичні відкриття, скільки про те, що вони означають для загальної картини світу. Через багато років після виходу статті «Структура атома», вже після Другої світової війни та створення атомної бомби, досягнення квантової механіки реалізувалися на практиці, а правомірність квантової механіки не підлягала сумніву навіть для Айнштайна. Втім, багаторічна суперечка цих двох видатних фізиків вивіла їхню дискусію на рівень насправді філософського осмислення як фізики, так і світу загалом. Показовим є також те, що у статті Бора «Дискусії з Айнштайном про проблеми теорії пізнання в атомній фізиці» термін «reality» зустрічається частіше, ніж в попередніх роботах. Аналіз термінів цієї статті показав, як далеко заходить датський фізик у своїх висновках: він стверджує, що квантовомеханічні висновки є вірними тому, що вони показують властивості самого світу. Саме поведінка елементарних часток змушує описувати мікросвіт за допомогою «двоїстої» (додаткової) системи понять. Відповідно до цього сама реальність світу, у розумінні Бора, виявляється не такою, якою її представляли раніше.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

Бор Н. Атомная физика и человеческое познание / пер. с англ. В. А. Фока, А. В. Лермонтовой. М.: Издательство иностранной литературы, 1961. 152 с.

Бор Н. Дискусии с Эйнштейном о проблемах теории познания в атомной физике / пер. с англ. В. А. Фока, А. В. Лермонтовой. *Успехи физических наук*. 1958. № 4. С. 571–598.

Бор Н. Избранные научные труды: в 2-х т.; т. 1 / пер. с англ. И. В. Андреева, С. И. Вавилова, И. М. Дремина, Т. С. Петелиной, А. М. Френка, В. Я. Френкеля. М.: Наука, 1970. 566 с.

Бор Н. Проблема причинности в атомной физике / пер. с англ. И. С. Алексеева. *Успехи физических наук*. 1985. № 2. С. 343–366.

Мирошников Ю. И. А. Эйнштейн и Н. Бор: два романтика в поисках утерянного единства физического знания. *Научный ежегодник Института философии и права Уральского отделения Российской академии наук*. 2011. № 11. С. 201–221.

Мур Р. Нильс Бор – человек и ученый / пер. с англ. И. Г. Почиталина. М.: Мир, 1969. 470 с.

Bohr N. Atomic Structure [Electronic resource]. 1921. URL: <https://ru.scribd.com/document/251573693/Atomic-Structure>.

Bohr N. Discussions with Einstein on Epistemological Problems in Atomic Physics [Electronic resource]. 1949. URL: <https://www.marxists.org/reference/subject/philosophy/works/dk/bohr.htm>.

Bohr N. Theory of Spectra and Atomic Constitution. Cambridge: Cambridge University Press, 1922. 126 p.

Campbell N. Atomic Structure. *Nature*. 1921. № 107. pp. 104–107.

Einstein A. Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality Be Considered Complete? *Physical Review Journals*. 1935. № 7. pp. 777–780.

Рожковська Валентина Миколаївна

аспірантка, кафедра філософії та методології пізнання
Одеський національний університет імені І. І. Мечникова
вул. Новосельського, 64, Одеса, 65000
E-mail: valentinarozk@ukr.net
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8779-4912>

Стаття надійшла до редакції: 22.10.2019

Схвалено до друку: 20.12.2019

ПРОБЛЕМА РЕАЛЬНОСТІ В ТЕКСТАХ НІЛЬСА БОРА

Рожковская Валентина Николаевна

аспірантка, кафедра філософії та методології пізнання
Одеський національний університет імені І. І. Мечникова
ул. Новосельського 64, Одесса, 65000
E-mail: valentinarozk@ukr.net
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8779-4912>

В статті говориться про нове розуміння реальності, сформоване в ХХ столітті. Оскільки ключовою фігурою в цих змінах став данський фізик Нільс Бор, ми звертаємося до його ранніх і пізніх статей з метою проаналізувати використання ним терміна «реальність» (reality). З допомогою аналізу термінів було показано, що в своїх ранніх статтях Нільс Бор описує відкриття, які не узгоджуються з старими уявленнями в фізиці, і саме вони в подальшому приведуть його до нового розуміння реальності. В ході дослідження було показано, як часто і в яких контекстах Нільсом Бором використовується термін «reality» в його ключових наукових статтях. Аналіз використання термінів продемонстрував, як саме зміщуються акценти в ранніх і пізніх статтях данського фізика, що дозволило показати еволюцію поглядів Бора в контексті того, як вони впливали на перегляд всієї фізики та людських уявлень про світ. В результаті дослідження був зроблений висновок про те, що відкриття стаціонарних станів в межах моделі атома, запропонованої Нільсом Бором, – це перший крок до переосмислення питань про реальність, які в творчості данського фізика набувають філософський характер.

Ключові слова: реальність, квантова теорія, атом, картина світу.

Стаття надійшла до редакції: 22.10.2019

Утверджено до друку: 20.12.2019

THE PROBLEM OF REALITY IN THE TEXTS OF NIELS BOHR

Rozhkovska Valentyna M.

PhD student, Department of Philosophy and Methodology of Cognition
Odesa I. I. Mechnikov National University
64, Novoselskogo str., 65000, Odesa, Ukraine
E-mail: valentinarozk@ukr.net
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8779-4912>

ABSTRACT

The article discusses a new understanding of the reality in the 20th century. Since the key figure in these changes was the Danish physicist Niels Bohr, we refer to his early and later articles to analyze the use of the term “reality”. Through an analysis of the terms, it is shown that Bohr describes discoveries in earlier articles that are inconsistent with old concepts in physics, and it is these questions that will further lead him to a new understanding of reality. In the article we also indicate how many times and in what contexts the term “reality” is used. Further, we find that the term “reality” is more common in later

articles than in his earlier works (Copenhagen's interpretation of quantum theory had not yet been formulated at the time of writing the early works). Through the analyzing of usage of certain terms, we show how the emphasis in the early and late Bohr's articles shifts. For many years, the Danish physicist has sought to clarify quantum theory. In some later articles, we note that the problems affect not only physical, but also other areas of knowledge. We also analyze the use of the term in later articles. This analysis shows how Niels Bohr's discoveries in the nature of the objects of the micro-world lead him to questions about the nature of reality. How discoveries in the microcosm affect the new conception of reality is best traced in controversy with other physicists. As the most striking example, we took the article "Discussion with Einstein on epistemological problems in atomic physics". In this article, Bohr describes the specific behavior of micro-objects, features of physical experiments and proves the idea that a fundamentally new (including ontological plan) understanding of physical processes is needed. An analysis of the terms shows that, from Bohr's point of view, reality itself is as described by its quantum mechanics. We strive to show the evolution of Bohr's views in the context of how they influenced the revision of all physics. We conclude that the discovery of stationary states in an atom is the first step to rethinking philosophical questions of a nature of reality.

Keywords: reality, quantum theory, atom, outlook.

REFERENCES

- Bohr, N. (1921). *Atomic Structure*. Retrieved from: <https://ru.scribd.com/document/251573693/Atomic-Structure>.
- Bohr, N. (1922). *Theory of Spectra and Atomic Constitution*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Bohr, N. (1949). *Discussions with Einstein on Epistemological Problems in Atomic Physics*. Retrieved from: <https://www.marxists.org/reference/subject/philosophy/works/dk/bohr.htm>.
- Bohr, N. (1958). Discussions with Einstein on Epistemological Problems in Atomic Physics. (V. A. Fok & A. V. Lermontova, Trans.). *Uspekhi Fizicheskikh Nauk – Advances in Physical Sciences*, 4, 571–598. (In Russian).
- Bohr, N. (1970). *Selected Scientific Works in 2 Vol.* (Vol. 1). (Yu. V. Andreev, S. Yu. Vavilov, Yu. M. Dremin, T. S. Petelina, A. M. Frenk & V. Ya. Frenkel, Trans.). Moscow: Nauka (In Russian).
- Bohr, N. (1961). *Atomic Physics and Human Knowledge: Collection of Scientific Papers*. (V. A. Fok & A. V. Lermontova, Trans.). Moscow: Foreign Literature Publishing House. (In Russian).
- Bohr, N. (1985). The Causality Problem in Atomic Physics. (V. A. Fok, Trans.). *Uspekhi fizicheskikh nauk – Advances in Physical Sciences*, 2, 343–366. (Original work published 1958). (In Russian).
- Campbell, N. (1921). Atomic Structure. *Nature*, 107, 104–107.
- Einstein, A. (1935). Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality Be Considered Complete? *Physical Review Journals*, 7, 777–780.
- Miroshnikov, Yu. I. (2011). A. Einstein and N. Bohr: Two Romantics in Search of the Lost Unity of Physical Knowledge. *Scientific Yearbook of the Institute of Philosophy and Law of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences*, 11, 201–221. (In Russian).
- Moore, R. (1969). *The Man, His Science, and the World They Changed*. (I. G. Pochitalina, Trans., V. F. Kuleshov, Ed.). Moscow: Mir. (Original work published 1966). (In Russian).

Article arrived: 22.10.2019

Accepted: 20.12.2019