

УДК 111+165.0
DOI 10.15372/PS20230408
EDN OKXYIN

И.Е. Прись

О КВАНТОВОМ ФУНДАМЕНТАЛИЗМЕ¹

Согласно одному из возможных диагнозов проблемы квантового измерения, к ней приводит квантовый фундаментализм, утверждающий, что онтология и эпистемология мира исключительно квантовые, а классическая физика является лишь приближенной. Для Н. Бора проблема измерения – псевдопроблема, так как любое квантовое явление предполагает классический контекст экспериментальной установки и употребление классических концептов для его описания. Мы рассматриваем позицию Бора с точки зрения предлагаемого нами контекстуального квантового реализма (ККР), который вдохновляется философией позднего Витгенштейна. Наш подход согласуется с интерпретацией Х. Цинкернагеля, состоящей в том, что позиция Бора – не только эпистемологический антифундаментализм, но и онтологический антифундаментализм.

Ключевые слова: проблема измерения; квантовый (анти)фундаментализм; Бор; контекстуальный квантовый реализм

I.E Pris

ON QUANTUM FUNDAMENTALISM

According to one of the possible diagnoses of the quantum measurement problem, it is a consequence of quantum fundamentalism, which claims that ontology and epistemology of the world are exclusively quantum, and classical physics is only an approximation. For N. Bohr, the problem of measurement is a pseudo-problem, since any quantum phenomenon presupposes a classical context of an experimental unit and the use of classical concepts to describe it. We consider Bohr's position in terms of our contextual quantum realism (QCR), which is inspired by the philosophy of the later Wittgenstein. Our approach is consistent with H. Zinkernagel's interpretation, which is that Bohr's position is not only epistemological anti-fundamentalism, but also ontological anti-fundamentalism.

Keywords: measurement problem; quantum (anti-)fundamentalism; Bohr; contextual quantum realism

¹ Работа частично поддержана Белорусским республиканским фондом фундаментальных исследований, грант № Г22МС-001.

Проблема измерения и эпистемологический антифундаментализм Н. Бора

Проблема квантового измерения имеет много ипостасей. Один из возможных диагнозов заключается в том, что к ней приводит квантовый фундаментализм, утверждающий, что онтология и эпистемология мира исключительно квантовые, а классическая физика – лишь приближение к квантовой. Квантовый фундаментализм – чисто физикалистский подход, согласно которому измерение всегда следует рассматривать как квантовое спутывание измерительного прибора и наблюдаемой квантовой системы, что не позволяет ответить на вопрос, каким образом возникает регистрируемое прибором конкретное наблюдаемое значение квантовой физической величины, и даже на вопрос, почему оно вообще возникает. Результатом «измерения» как квантового взаимодействия/спутывания является суперпозиция, в которой волновая функция прибора спутана с волновой функцией наблюдаемой квантовой системы. Декогеренция, вызываемая взаимодействием квантовой системы с окружающей средой (и в частности, с самим прибором), имеющей много степеней свободы, как считают большинство исследователей, также не дает ответа на вопрос, почему возникает один и только один результат измерения.

Философская позиция Н. Бора – не квантовый фундаментализм в том смысле, что согласно ей все объекты могут рассматриваться как квантовые, но не одновременно. Бор принимает эпистемологическое различие между инструментом измерения – пространственно-временной «системой отсчета», относительно которой квантовая физическая величина только и может иметь конкретное значение, и объектом измерения. Первый отделен от последнего и получает информацию о нем. Это предполагает употребление классических концептов. При этом для Бора граница между областью применения классических концептов (прибор) и областью применения квантовых концептов (квантовая система) не проходит по линии «макроскопическое – микроскопическое». Для него иногда части макроскопической системы могут относиться к области применения квантовых концептов (квантовой механики). Важно отметить, что, по мнению Бора, «взаимодействие» прибора и объекта наблюдения не следует рассматривать как механическое/физическое влияние. Вли-

яние наблюдателя (прибора) проявляется в выборе экспериментальных условий наблюдения и, соответственно, условий описания квантовой системы. Эти условия описываются классическими понятиями². Именно использование классических понятий позволяет Бору избавиться от проблемы измерения как от псевдопроблемы. Существование скрытых переменных и трактовку коллапса волновой функции как реального физического процесса Бор отвергает (см. также: [15]).

Х. Цинкернагель пишет, что Бор «растворил» проблему измерения, так как для него квантовый мир имеет смысл лишь относительно определенного классического описания и определенного классического мира [20]. В терминах нашей позиции, контекстуального квантового реализма (ККР), это просто означает, что Бор принимает во внимание «грамматику» явления. Любое явление, в том числе и квантовое, имеет следующую «классическую» логику: что-то является кому-то («классическому» наблюдателю), в какой-то момент («классического») времени, каким-то («классическом») образом и при каких-то («классических») условиях. На эту структуру явления указал еще Аристотель. (У Аристотеля логическая структура явления определяется его категориями. В «Метафизике» философ пишет: «...То, что представляется, существует не [вообще], а лишь для того, кому оно представляется, когда, как и в каких условиях оно представляется» [1, кн. 4, гл. 6, с. 113].)

Тем не менее именно это боровское понятие некоторые физики и философы критикуют (на наш взгляд, ошибочно) как вредное псевдопонятие. Например, Дж. Уилер и, следуя за ним, У. Миллер и К. де Ронде обвиняют Бора в том, что его главный концепт «элементарного квантового явления» – «большой дымный дракон» (great smoky dragon), т.е. псевдоконцепт [12; 17, р. 73]). (Де Ронде пишет: «Дымный дракон – это непредставимая бессмысленная концепция, которая обеспечивает псевдоизображение физической ситуации или процесса и, следовательно, иллюзию понимания. Такие противоречивые концепции не имеют математического представления и не обладают какой-либо операционной процедурой проверяемости» [12].) Копенгагенскую интерпретацию Бора также критикует

² Некоторые авторы видят в требовании отделить во время измерения квантовую систему от измерительного прибора и окружающей среды прагматический момент.

Д. Дойч [13, ch. 12; 2, гл. 12] и многие другие физики и философы физики.

Цинкернагель также утверждает, что для Бора не только эпистемологическое, но и онтологическое различие между классическим и квантовым является контекстуальным [20]. Если это так, то позицию Бора однозначно можно трактовать в рамках нашего ККР. У исследователей, однако, нет единого взгляда на то, действительно ли Бор считал, что классический мир не только эпистемически, но и онтологически отличается от квантового мира. Здесь важно отметить, что Бор видит определенную аналогию между специальной теорией относительности (СТО) и квантовой механикой. Для него разные экспериментальные контексты наблюдения в квантовой механике играют роль разных систем отсчета в СТО. Согласно М. Дорато, это означает, что Бор рассматривал квантовую механику как теорию-принцип, и это как раз и объясняет как вводимую Бором эпистемическую зависимость от области классической физики, так и его запрет на любые попытки конструирования классических объектов из квантовых [14]³. Квантовую механику как теорию-принцип трактует, например, Дж. Баб [11]. Для В. Гейзенберга СТО и квантовая механика – «замкнутые теории». Понятие замкнутой теории близко к понятию теории-принципа. В рамках нашего ККР мы интерпретировали замкнутую теорию Гейзенберга как витгенштейновское правило (в-правило) [18]. Трактовка теории как в-правила позволяет, на наш взгляд, устранить дихотомию между теориями-принципами и конструктивными теориями, хотя *prima facie* понятие в-правила ближе к понятию теории-принципа.

Антифундаменталистская онтологическая интерпретация позиции Н. Бора

Для Бора не имеет смысла говорить об автономных квантовых системах вне контекста наблюдения, т.е. вне «взаимодействия» макроскопического (классического) прибора и квантовой системы. Также вне контекста наблюдения не имеет смысла говорить и о на-

³ Различие между теорией-принципом и конструктивной теорией ввел А. Эйнштейн. Первая описывает/объясняет наблюдаемые явления, исходя из общих принципов, тогда как вторая – исходя из их микроскопической внутренней структуры и причинных связей.

блюдателе. Бор пишет: «Квантовый постулат подразумевает, что любое наблюдение атомных явлений будет включать в себя взаимодействие с наблюдателем (agency of observation), которым нельзя пренебречь. Соответственно, независимая реальность в обычном физическом смысле не может быть приписана ни явлениям, ни наблюдателям (agencies of observation)» (цит. по: [20, р. 11]; оригинал: «Como lecture» [10, р. 54]). Поэтому в различных экспериментальных условиях и наблюдаются разные явления, о которых, поскольку речь идет о наблюдении «одной и той же» квантовой системы, можно сказать, что они дополняют друг друга⁴.

Боровский принцип дополнительности и нефизический характер коллапса, таким образом, тесно связаны с «неразделимостью» наблюдателя и наблюдаемой системы. В результате «коллапса» просто совершается переход в другой контекст наблюдения (другие экспериментальные условия) и, следовательно, к другому явлению. Бор пишет: «Существенная неделимость соответствующих квантовых явлений находит логическое выражение в том обстоятельстве, что любая попытка хорошо определенного подразделения потребует изменения экспериментальной схемы, что исключает возникновение исходного явления (the phenomenon itself). В этих условиях неудивительно, что явления, наблюдаемые при различных экспериментальных установках, кажутся противоречивыми, когда их пытаются объединить в единую картину. Такие явления уместно называть взаимодополняющими в том смысле, что они представляют собой одинаково важные аспекты знания, получаемого относительно атомных объектов, и только вместе исчерпывают это знание» (цит. по: [20, р. 11]; см. также: [9]).

Таким образом, для Бора «процесс измерения» – не причинный процесс, развертывающийся в пространстве и времени. «Взаимодействие» наблюдателя и квантовой системы, как уже было сказано ранее, – не физическое взаимодействие. В известном смысле квантовая система и измерительный прибор (наблюдатель) неотделимы друг от друга (а не причинным образом взаимодействуют друг с другом). С точки зрения ККР, который здесь сближается с позицией Бора, эта неотделимость эпистемологическая, а не онтологиче-

⁴ Общая структура квантовой механики (квантовой системы) инвариантна, не зависит от выбора контекста. Например, инвариантами являются гамильтониан квантовой системы и операторы физических величин.

ская⁵. Но многие исследователи позиции Бора считают, что это неокантианская позиция, тогда как ККР отвергает трансцендентализм. К. Барад, например, интерпретируя позицию Н. Бора, пишет: «В моей агентно-реалистической (agential-realist) разработке подхода Бора приборы являются материальными условиями возможности и невозможности материализации; они предписывают (enact) то, что имеет значение, и то, что исключается как не имеющее значения» [8, p. 148]. С точки зрения ККР, наблюдатель (приборы) играет логическую (грамматическую, функциональную), а не трансцендентальную роль.

Позицию Бора можно попытаться интерпретировать в духе ККР, если неокантианские условия возможности, или относительные априори (конститутивные принципы), так сказать, укоренить в реальности (в результате чего они теряют свой априорный характер и превращаются в в-правила). Дж. Фей, например, пишет: «Подчеркивая необходимость классических понятий для описания квантовых явлений, Бор мог находиться под влиянием идей, подобных кантовским, или неокантианства. Но если это так, то он был натурализованным или прагматизированным кантианцем» [15].

Для Бора прибор, если он рассматривается как измерительный прибор, т.е. как прибор классический, не спутывается с измеряемой квантовой системой и, соответственно, волновая функция представляет – именно представляет – квантовую систему в (экспериментальном) контексте, который описывается классически (это включает описание прибора и экспериментальных условий). Четкое и не произвольное различие классического и квантового возможно, но лишь в контексте, а представление квантовой системы при помощи волновой функции имеет символический характер (волновая функция – не физическое поле) [14]. На самом деле описание контекста – это описание явления, которое имеет свою логику – «условия возможности» (к которым относится квантовая теория), и в рамках которого является квантовый «объект».

В неокантианских терминах квантовая механика (грамматика, форма жизни) – априорное условие возможности существования квантовых явлений, подразумеваемое любым квантовым экспери-

⁵ Также с точки зрения ККР, приписываемые Бору известные слова, что задача физики состоит в том, чтобы выяснить, не какова Природа, а что мы можем сказать о Природе, следует понимать как аналитическое, а не метафизическое утверждение и как критику метафизического реализма.

ментом. Но это «относительное априори», так как существуют и другие априори. Например, классическая механика (ее законы) может трактоваться как априорное условие возможности классических явлений. Отличие нашего ККР от (нео)кантианства состоит в том, что для ККР теория, ее принципы не априорны даже в относительном смысле, а апостериорны, укоренены в опыте (не в смысле классического эмпиризма), в реальности. (Строго говоря, мы принимаем точку зрения Т. Уильямсона, согласно которой различие между априори и апостериори поверхностно, не играет важной эпистемологической роли [19].) О теории, ее законах и принципах как априорных условиях возможности явлений имеет смысл говорить лишь приближенно – в рамках уже устоявшейся (концептуализированной) области явлений, «грамматика» которой трактуется как априорная.

Позиция Бора относительно контекстуальности квантовых явлений в следующей интерпретации Цинкернагеля разделяется нашим ККР. Цинкернагель пишет: «Необходимо сделать три важных замечания. 1. Когда выполняется измерение... то контекст меняется и, следовательно, меняется волновая функция. Формально это можно рассматривать как “коллапс” волновой функции, причем кавычки указывают на то, что речь не идет о физическом процессе, в котором коллапсирует реальная волна. 2. Различие между эпистемическим и онтическим взглядами на волновую функцию иногда воспринимается как различие между “представлением знаний агента о системе” и “представлением системы”. В этом смысле взгляд Бора на волновую функцию является онтическим, поскольку, если учитывать экспериментальный контекст, волновая функция не является агентно-относительной (т.е. волновая функция зависит не от того, что конкретный агент знает о системе, а от экспериментальной установки и от того, что фактически произошло с системой, например был ли зарегистрирован электрон или нет). 3. Экспериментальный контекст описывается классически, что подразумевает, что этот контекст опущен в квантовом описании и, таким образом, не представлен с помощью волновой функции. Это также подразумевает, что никакая волновая функция не может быть приписана измерительному прибору в целом» [20, р. 12].

Для Бора «коллапс» волновой функции – формальное (не физическое) понятие, обозначающее переход от суперпозиции собственных функций измеряемой физической величины к ее конкретной собственной функции.

Согласно ККР, как и у Бора, квантовое измерение – это измерение в контексте, или «переход» в тот или иной контекст. При этом нет никакого физического процесса перехода: мы просто оказываемся в том или ином контексте (вне контекста измерение просто не имеет смысла). В этом плане проблема измерения (редукции/коллапса волновой функции, или дуализма квантовых законов) просто не возникает. ККР также настаивает на том, что различие между наблюдаемой системой и наблюдателем категориальное, а квантовая онтология чувствительна к контексту.

Замечательно, что именно в этом направлении развивается интерпретация Цинкернагеля позиции Бора. Он считает, что точка зрения Бора – онтологический контекстуализм: в зависимости от контекста один и тот же «объект» может быть квантовым или классическим [20, р. 16]. Например, в зависимости от контекста, атомное ядро может трактоваться либо как классическая, либо как квантовая система. Это значит, что для Цинкернагеля Бор – «полный квантовый антифундаменталист», а не просто эпистемологический антифундаменталист. (Напротив, например, Дорато и некоторые другие авторы считают, что антифундаментализм Бора относится только к эпистемическому уровню [14; 15].) Различие между нашим ККР и точкой зрения Бора состоит в том, что ККР заменяет борровский дуализм квантового и классического категориальным дуализмом реального и идеального.

К сказанному уместно добавить хорошо известный факт, на который ссылается и Цинкернагель: что для Бора квантовая механика есть рациональное обобщение классической механики [20, р. 17]. Этот вывод наилучшим образом может быть понят в рамках нашей трактовки классической механики и квантовой механики в терминах в-правил, а перехода от классической механики к квантовой – как обобщения в-правила [7]. Такой подход предполагает, что в своей области применимости классическая механика – истинная теория, а классическая онтология, вообще говоря, не редуцируется к квантовой онтологии (о той или иной локальной редукции можно говорить лишь в том или ином контексте). Классические языковые игры, т.е. корректные применения классических концептов, столь же реальны, как и квантовые языковые игры, т.е. применения квантовых концептов.

В заключение еще раз отметим, что боровская интерпретация квантовой механики подверглась жесткой критике со стороны некоторых физиков и философов физики. Например, по словам Э.Т. Джейнс квантово-механический формализм «представляет собой своеобразную смесь, описывающую частично законы Природы, частично – имеющуюся у человека неполную информацию о Природе, и все это Бор превратил в мешанину (досл.: омлет), с которым никто не знает, как разобраться (unscramble)» [16, р. 387]. Разобраться с этой мешаниной пытаются К. Фукс при помощи своего кьюбизма (QBism) и другие. Как уже было сказано выше, Дж. Уилер считал, что Бор оперирует псевдоконцептами. Ближе к истине, на наш взгляд, точка зрения К. де Ронде, согласно которой подход Бора представляет собой «противоречивую форму антиреалистического реализма». Но именно в этом де Ронде видит его силу и эффективность. Критическая оценка позиции Бора как «плохой философии», т.е. философии, которая не просто ошибочна, но и блокирует развитие физики, дается Д. Дойчем в главе 12 его книги «Начало бесконечности». Согласно Дойчу, Бор комбинирует «инструментализм с намеренной (studied) двусмысленностью» [13, р. 308; 2, с. 546].

На наш взгляд, копенгагенская интерпретация (на самом деле ее сторонники – Бор, Гейзенберг, Паули, Борн, фон Нейман и др. имели свои собственные философские взгляды, которые по некоторым вопросам значительно различались) порывает с некоторыми посылками и предпосылками философии модерна, но далеко не со всеми. Эта интерпретация считается антиреалистической, поскольку она является эпистемической, т.е. в ее рамках рассматриваются квантовые события, а не стоящая за ними «внешняя» реальность. Более поздние «реалистические» интерпретации квантовой механики (квантовая механика со скрытыми параметрами Бома, метафизическая многомировая интерпретация типа интерпретации Эверетта, теория коллапса волновой функции как причинного процесса и др.) также остаются в парадигме модерна и в философском плане даже сделали шаг назад к метафизическому реализму, утверждающему существование «объективного внешнего мира». Наш ККР – реалистический подход без метафизики «потустороннего». ККР отвергает предпосылки парадигмы (пост)модерна [3–6].

Литература

1. *Аристотель*. Метафизика / Пер. с древнегреч. А. Кубицкого. М.: АСТ, 2020. 448 с.
2. *Дойч Д.* Начало бесконечности: Объяснения, которые меняют мир. М.: Альпина нон-фикшн, 2018. 822 с.
3. *Прись И.Е.* Бозон Хиггса, квантовые струны и философия физики. СПб.: Алетея, 2021. 192 с.
4. *Прись И.Е.* Знание в контексте. СПб.: Алетея, 2022. 720 с.
5. *Прись И.Е.* Контекстуальность онтологии и современная физика. СПб.: Алетея, 2020. 354 с.
6. *Прись И.Е.* Контекстуальный квантовый реализм и другие интерпретации квантовой механики. М.: URSS, 2023. 304 с.
7. *Прись И.Е.* О смысле принципа соответствия и единства физики // *Analytica*. 2012. № 6. С. 18–35.
8. *Barad K.* Meeting the Universe Halfway. Duke University Press, 2007. 544 p.
9. *Bohr N.* Mathematics and natural philosophy // *Scientific Monthly*. 1956. Vol. 82, No. 2. P. 85–88.
10. *Bohr N.* The quantum postulate and the recent development of atomic theory // *The Philosophical Writings of Niels Bohr*. Vol. I: Atomic Theory and the Description of Nature. Woodbridge: Ox Bow Press, 1987. P. 147–158.
11. *Bub J.* Quantum mechanics as a principal theory // *Studies in History and Philosophy of Science Part B: Studies in History and Philosophy of Modern Physics*. 2000. Vol. 31, Iss. 1. P. 75–94.
12. *De Ronde C.* The Power of Inconsistency in Anti-Realist Realisms about Quantum Mechanics (Or: Lessons on How to Capture and Defeat Smoky Dragons). URL: <https://arxiv.org/abs/2101.00255> (дата обращения: 11.05.2022).
13. *Deutsch D.* The Beginning of Infinity: Explanations that Transform the World. N.Y.: Viking, 2011. 487 p.
14. *Dorato M.* Bohr's relational holism and the classical-quantum interaction // *Niels Bohr and the Philosophy of Physics* / Ed. by J. Faye and H. Folse. London: Bloomsbury Academic, 2017. P. 133–154.
15. *Faye J.* Copenhagen interpretation of quantum mechanics // *Stanford Encyclopedia of Philosophy*. URL: <https://plato.stanford.edu/entries/qm-copenhagen/> (дата обращения: 04.08.2022).
16. *Jaynes E.T.* Probability in quantum theory // *Complexity, Entropy, and the Physics of Information* / Ed. by W.H. Zurek. Addison-Wesley, 1990. 548 p.
17. *Miller W.A., Wheeler J.A.* Delayed-choice experiments and Bohr's elementary quantum phenomenon // *Proceedings of the International Symposium in Foundations of Quantum Mechanics* / Ed. by S. Kamefuchi, H. Ezawa, Y. Murayama, M. Namiki, S. Nomura, Y. Ohnuki, and T. Yajima. Tokyo: Physical Society of Japan, 1984. P. 140–152.
18. *Pris I.* The real meaning of quantum mechanics // *Educational Philosophy and Theory*. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00131857.2022.2080054> (дата обращения: 07.08.2022).
19. *Williamson T.* How deep is the distinction between a priori and a posteriori knowledge? // *The A Priori in Philosophy* / Ed. by A. Casullo and J.C. Thurow. Oxford University Press, 2013. P. 291–312.

20. Zinkernagel H. Niels Bohr on the wave function and the classical/quantum divide // *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*. 2016. Vol. 53. P. 9–19.

References

1. Aristotle. (2020). *Metafizika* [Metaphysics]. Transl. from ancient Greek by A. Kubitsky. Moscow, AST Publ., 448. (In Russ.).
2. Deutsch, D. (2018). *Nachalo beskonechnosti: Obyasneniya, kotorye menyayut mir* [The Beginning of Infinity: Explanations That Transform the World]. Moscow, Alpina Non-fiction Publ., 882. (In Russ.).
3. Pris, I.E. (2021). *Bozon Khiggsa, kvantovye struny i filosofiya fiziki* [Higgs Boson, Quantum Strings, and Philosophy of Physics]. St. Petersburg, Aletheya Publ., 192.
4. Pris, I.E. (2022). *Znanie v kontekste* [Knowledge in Context]. St. Petersburg, Aletheya Publ., 720.
5. Pris, I.E. (2020). *Kontekstualnost ontologii i sovremennaya fizika* [Contextuality of Ontology and Contemporary Physics]. St. Petersburg, Aletheya Publ., 354.
6. Pris, I.E. (2023). *Kontekstualnyy kvantovyy realizm i drugie interpretatsii kvantovoy mekhaniki* [Contextual Quantum Realism and Other Interpretations of Quantum Mechanics]. Moscow, URSS Publ., 304.
7. Pris, I.E. (2012). *O smysle printsipa sootvetstviya i edinstva fiziki* [On the meaning of the correspondence principle and the unity of physics]. *Analytica*, 6, 18–35.
8. Barad, K. (2007). *Meeting the Universe Halfway*. Duke University Press, 544.
9. Bohr, N. (1956). *Mathematics and natural philosophy*. *Scientific Monthly*, Vol. 82, No. 2, 85–88.
10. Bohr, N. (1987). *The quantum postulate and the recent development of atomic theory*. In: *The Philosophical Writings of Niels Bohr*. Vol. I: Atomic Theory and the Description of Nature. Woodbridge, Ox Bow Press, 147–158.
11. Bub, J. (2000). *Quantum mechanics as a principal theory*. *Studies in History and Philosophy of Science Part B: Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, Vol. 31, Iss. 1, 75–94.
12. De Ronde, C. *The Power of Inconsistency in Anti-Realist Realisms about Quantum Mechanics (Or: Lessons on How to Capture and Defeat Smoky Dragons)*. Available at: <https://arxiv.org/abs/2101.00255> (date of access: 11.05.2022).
13. Deutsch, D. (2011). *The Beginning of Infinity: Explanations That Transform the World*. New York, Viking, 487.
14. Dorato, M. (2017). *Bohr's relational holism and the classical-quantum interaction*. In: Faye, J. & H. Folse (Eds.). *Niels Bohr and the Philosophy of Physics*. London, Bloomsbury Academic, 133–154.
15. Faye, J. *Copenhagen interpretation of quantum mechanics*. In: *Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Available at: <https://plato.stanford.edu/entries/qm-copenhagen/> (date of access: 04.08.2022).
16. Jaynes, E.T. (1990). *Probability in quantum theory*. In: Zurek, W.H. (Ed.). *Complexity, Entropy, and the Physics of Information*. Addison-Wesley, 548.
17. Miller, W.A. & J.A. Wheeler. (1984). *Delayed-choice experiments and Bohr's elementary quantum phenomenon*. In: Kamefuchi, S., H. Ezawa, Y. Murayama, M. Namiki, S. Nomura, Y. Ohnuki, and T. Yajima (Eds.). *Proceedings of the International Symposium in Foundations of Quantum Mechanics*. Tokyo, Physical Society of Japan, 140–152.

18. *Pris, I.* The real meaning of quantum mechanics // Educational Philosophy and Theory. Available at: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00131857.2022.2080054> (date of access: 07.08.2022).

19. *Williamson, T.* (2013). How deep is the distinction between a priori and a posteriori knowledge? In: Casullo, A. & J.C. Thurow (Eds.). *The A Priori in Philosophy*. Oxford University Press, 291–312.

20. *Zinkernagel, H.* (2016). Niels Bohr on the wave function and the classical/quantum divide. *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, 53, 9–19.

Информация об авторе

Прись Игорь Евгеньевич – Институт философии НАН Беларуси (ул. Сурганова, 1, корп. 2, Минск, 220072, Республика Беларусь)
frigpr@gmail.com

Information about the autor

Pris, Igor Evgenievich. – Institute of Philosophy, National Academy of Sciences of Belarus (1/2, Surganov st., Minsk, 220072, Republic of Belarus).

Дата поступления 21.07.2023