

КВАНТОВЫЙ БАЙЕСИНИЗМ (QBISM): АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР

Печенкин Александр Александрович – доктор философских наук, профессор.
Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова.
Российская Федерация, 119991 Москва, ГСП-1.
главный научный сотрудник.
Институт истории естествознания и техники им. С.И. Вавилова РАН.
Российская Федерация, 125315, г. Москва, ул. Балтийская, д. 14;
e-mail: a_pechenk@yahoo.com



Квантовый байесинизм (QBism) – персоналистическая интерпретация квантовой механики, ставшая популярной в XXI в. В отличие от копенгагенской интерпретации, которая может быть названа стандартной, поскольку она представлена в ведущих учебниках по этой дисциплине, байесинизм подчеркивает роль исследователя (наблюдателя) в той картине мира, которая создается квантовой механикой. Копенгагенская интерпретация исходит из понятия квантового явления, которое создается исследователем, изучающим микромир при помощи макроскопических приборов. Для байесинизма состояние квантовой системы – это состояние наблюдателя, состояние того субъекта, который создает квантово-механическую модель природы. Другой наблюдатель – другое состояние. Прибор для байесиниста – продолжение органов чувств наблюдателя. Измерение – это приведение к настоящему моменту времени той информации, которую получает наблюдатель, моделируя природные явления с помощью аппарата квантовой механики. Квантовый байесинизм – продолжение субъективистской интерпретации вероятности, известной как байесинизм. В качестве историко-философских предпосылок байесинизма могут быть названы американский инструментализм и операционализм.

Ключевые слова: волновая функция, квантовое состояние, копенгагенская интерпретация, моделирование, наблюдатель, субъект, психофизический параллелизм

QBISM: AN ANALYTICAL REVIEW

Alexander A. Pechenkin – DSc in Philosophy, Professor.
Lomonosov Moscow State University.
GSP-1, 119991 Moscow, Russian Federation.
Head Research Fellow.
S.I. Vavilov Institute for the History of Science and Technology,
Russian Academy of Sciences.
14 Baltiyskaya St., 125315 Moscow, Russian Federation;

A new interpretation of quantum mechanics, the interpretation which became popular in XXI, has been taken under consideration. This is the quantum bayesianism (QBism) which may be taken as an extrapolation of the bayesian philosophy of probability over the interpretation of quantum mechanics. The bayesian philosophy of quantum mechanics has been compared with the Copenhagen interpretation of quantum mechanics, the interpretation which can be treated as standard as it is represented in the main textbooks. In contrast to the Copenhagen interpretation which proceeds from the triplets – nature, apparatus and observer (agent), QBism emphasizes the conscious of the observer: the quantum state is the observer's state, and by means of the quantum conceptual technique the observer constructs his/her own image of



e-mail: a_pechenk@
yahoo.com

quantum processes. By means of measurement the observer updates his/her quantum state, the measuring apparatus being an extension of the observer's sensuality. From the point of the QBism's view the phenomenon of decoherence which is widely discussed in the contemporary literature is not essential for the theory of measurement in quantum mechanics. The decoherence explains why the macroscopic phenomena don't expose the interference behavior which is characteristic for quantum superposition. From the historico-philosophical point of view Qbism can be traced back to American instrumentalism and operationalism.

Keywords: wave function, quantum state, Copenhagen interpretation, modeling, observer, agent, psycho-physical parallelism

Квантовый байесинизм – одна из интерпретаций квантовой механики, получившая популярность в XXI в. На русском языке по сути дела не освещалась. Имеется короткая статья в *Википедии*, носящая информационный характер, и статья Е.А. Мамчур, опубликованная в «Электронном философском журнале» (вып. 20, 2016). В настоящей статье мы пытаемся сначала объяснить, что такое байесинизм как интерпретация вероятности, затем – коротко – трудности стандартной (копенгагенской) интерпретации квантовой механики, и в конце концов – каким образом квантовый байесинизм преодолевает (или пытается преодолеть) эти трудности.

Байесинизм излагается главным образом в статьях философского характера. В свою очередь, копенгагенская интерпретация проводится в основных учебниках, излагающих квантовую механику: в знаменитом курсе Л.Д. Ландау и Е.М. Лифшица, в двухтомнике А. Мессиа, в книге Д. Бома (написанной еще до того, как Бом увлекся идеей «скрытых параметров»), в фейнмановских лекциях по физике. Есть, правда, и исключения, например «Основы квантовой механики», написанные Д.И. Блохинцевым с позиции ансамблевого (статистического) подхода.

Байесинизм указывает на те трудности, которые присутствуют в стандартном изложении квантовой механики. В проблемном поле современной философии физики байесинизм присутствует вместе с другими неортодоксальными интерпретациями квантовой механики: многомировой, интерпретацией относительных состояний, модальной интерпретацией (см. *Стэнфордскую энциклопедию по философии*).

Байесинизм

Речь идет об интерпретации вероятности, именно об интерпретации, позволяющей наглядно продемонстрировать смысл некоторых утверждений теории вероятности и задач, где эти утверждения фигурируют. Интерпретация не означает определения. Как и основные современ-



ные учебники, мы исходим из аксиоматического теоретико-множественного определения вероятности, данного А.Н. Колмогоровым (из этого, однако, не следует, что все сторонники байесинизма принимают такую позицию, существуют байесинисты, которые дают свое байесинистское определение вероятности – см. соответствующую статью в *Стэнфордской энциклопедии по философии*).

Байесинизм – это интерпретация вероятности как степени доверия, как той ставки, которую игрок готов внести, если высказанное им утверждение окажется ложным. Эта интерпретация, которая может также быть названа персоналистической, связана с применением одной из центральных теорем теории вероятностей – теоремы Байеса.

При объяснении, что такое вероятность, байесинисты часто используют терминологию тотализатора. Классик байесинизма Б. де Финетти писал следующее: «Пусть некий индивид решил оценить шанс p , что некое событие E произойдет и он соответственно получит или потеряет, если E не случится, некую сумму денег S . Тогда мы скажем, что число p , по определению, есть мера вероятности, приписываемой этим индивидом событию E , или просто вероятность этого события».

«Ваша степень веры в то, что E произойдет, есть p , если p долей полезности – это та сумма, на которую Вы заключили бы пари, и p было бы равно единице, если бы E определенно должно случиться, и p было бы равно нулю, если бы E определенно не могло бы произойти».

Чтобы сформулировать теорему Байеса, надо вспомнить определение условной вероятности, определение, на котором многое строится в современной индуктивной логике.

$$p(h/e) = \frac{p(h\Delta e)}{p(e)},$$

где h – гипотеза, e – эмпирическое свидетельство, $p(h/e)$ – вероятность гипотезы h при наличии эмпирического свидетельства e , $h\Delta e$ – конъюнкция h и e , что на языке теории множеств означает пересечение соответствующих множеств.

Теорема Байеса в известном смысле переворачивает вышеизложенную условную вероятность гипотезы, она рассматривает вероятность эмпирического свидетельства e при наличии события, о котором высказана гипотеза h .

$$p(e/h) = \frac{p(e)p(h/e)}{p(h)}$$

Иными словами, гипотеза h уже не гипотеза, а эмпирический факт. Нас интересует, какова тогда вероятность того факта, который



мы рассматривали как эмпирическое свидетельство, когда оценивали вероятность гипотезы h .

Пусть перед Вами следующая ситуация. Вы знаете некоего Петю, который, возможно, Вам друг, возможно – просто знакомый, а возможно – по сути дела враг. Вы определяете следующие вероятности: друг – 0,5, просто знакомый – 0,3, замаскировавшийся враг – 0,2. Если Петя друг – он с вероятностью 0,5 даст Вам денег взаймы, если просто знакомый, он даст Вам деньги с вероятностью 0,3, если скрытый враг, то вероятность – 0,1.

Воспользовавшись формулой полной вероятности, Вы легко рассчитываете вероятность того, что Петя даст Вам взаймы (вероятность равна 0,36). Теперь пусть свершилось – Петя Вам дал денег взаймы. У Вас есть эмпирический факт, и исходя из него Вы можете, воспользовавшись теоремой Байеса, рассчитать вероятность того, что принятая Вами гипотеза, скажем «Петя мне друг», правильна.

Вы также можно рассчитать вероятность других двух гипотез – «Петя – просто знакомый» и «Петя мне враг». Если Петя Вам дал взаймы, то вероятность того, что он Вам друг, повысится (будет равна немногим меньше, чем 0,7).

Как мы видим, наши исходные вероятности априорны. Мы просто «на глаз» подбираем исходные вероятности. Затем исходя из эмпирического факта (из состоявшегося события) рассчитываем вероятность принятых гипотез, поправляем наши первоначальные оценки. Но исходные вероятности, принятые нами на веру, остаются в структуре расчета.

В книгах по теории вероятностей при расчетах, иллюстрирующих расчеты по формуле Байеса, иногда используются данные статистики. Однако и статистика несет в себе момент априоризма, а следовательно, и субъективизма. Ведь она предполагает разбиение множества на классы, а это разбиение зависит от мировоззрения того, кто производит разбиение, а следовательно, и от его интересов.

Когда-то Марк Твен сказал, что есть ложь, наглая ложь, и ложь, называемая статистикой. Марк Твен, конечно, преувеличивал. Но статистика предполагает априорные классификации социальных явлений. Эти классификации очень часто диктуются политическими или даже групповыми подходами.

Байесинизм и фриквинтизм

Байесинизм нередко противопоставляется фриквинтизму как такой трактовке вероятности, которая склоняется к объективизму. Фриквинтизм – это интерпретация вероятности как относительной частоты появления события, о вероятности которого идет речь. Точнее,



согласно фриквинтизму, вероятность – это предел последовательности относительных частот, рассчитываемый при условии, что число испытаний стремится к бесконечности (см. подробнее [Кайберг, 1978]).

В вышеприведенном примере с Петей частотная интерпретация вряд ли уместна, поскольку придется ссылаться на множество копий этого Пети. Однако, обратившись к стандартным для теории вероятностей иллюстрациям, мы находим хорошие примеры частотной точки зрения. Пусть вы бросаете шестигранную кость и интересуетесь выпадением двойки. Тогда естественно произвести сначала десять бросаний, потом сто, потом тысячу и т.д. и рассчитать предел последовательности относительных частот, достигаемый, когда число бросаний стремится к бесконечности.

Фриквинтистская трактовка вероятности была сформулирована специалистом в области прикладной математики и одним из классиков позитивистской философии Р. фон Мизесом. Фон Мизес, однако, видел в ней не просто интерпретацию вероятности, но и определение этого математического понятия. Когда же в тридцатые годы появилась и стала завоевывать признание аксиоматическая трактовка вероятности, данная А.Н. Колмогоровым, фонмизесовская частотная концепция с ней некоторое время конкурировала. Победила, однако, колмогоровская концепция. В современных учебниках вероятность обычно излагается по А.Н. Колмогорову, а фонмизесовская частотная позиция рассматривается в историческом введении. В некоторых учебниках, впрочем, частотная позиция учитывается как важное вспомогательное средство оценки вероятности.

В настоящей статье фриквинтистская (частотная) точка зрения упоминается лишь в связи с байесинистской точкой зрения. Мы упоминаем ее, чтобы лучше представить байесинизм – субъективистскую, персоналистическую позицию в интерпретации вероятности.

Копенгагенская (стандартная) интерпретация квантовой механики

Как было отмечено в начале настоящей статьи, байесинизм принадлежит к нестандартным (неортодоксальным) интерпретациям квантовой механики. Какова же стандартная интерпретация квантовой механики? Эта интерпретация была развита Н. Бором и В. Гейзенбергом и, как отмечалось выше, присутствует в основных учебниках по квантовой механике. Однако в этих учебниках она возникает в виде комментариев к теоретико-физическим понятиям и проблемам, в виде философского контекста. Историко-научное освещение этой интерпретации дано в книге М. Джеммера. Изложим ее, однако,



в виде тех четырех пунктов, которые подчеркивает в своей философской книге И.С. Алексеев, один из отечественных философов, порвавших с идеологической критикой «буржуазных» концепций и перешедших к творческому развитию философии науки (the philosophy of science). Это следующие положения:

1. «Поскольку результаты наблюдений должны быть сообщены другим людям, то это вынуждает использовать обычный естественный язык, надлежащим образом утонченный с помощью понятий классической физики. Исходным пунктом обоснования физического требования, таким образом, служит социальное требование общения, коммуникации.

2. Следующий шаг состоит в признании постулата неделимой онтологической целостности процесса наблюдения, символизируемой квантом действия. Это – типично неклассическое представление, ограничивающее пределы применения классических понятий, неизбежного в силу требования коммуницируемости.

3. Третий шаг состоит в необходимости традиционного гносеологического подразделения процесса наблюдения на наблюдаемый объект и средства наблюдения (приборы).

4. Четвертый шаг – отнесение информации о целостном акте наблюдения, воплощенной в его результате, к наблюдаемому объекту. При этом классичность описания средств наблюдения и его результата приводит к тому, что наблюдаемый объект также описывается в классических понятиях, соответствующих типу примененного средства наблюдения (прибора). Поскольку же использование некоторых типов приборов исключает друг друга, картины объекта, выраженные в соответствующих наборах классических понятий, также исключают друг друга, представляя собой дополнительные картины. Лишь в совокупности они исчерпывают информацию о наблюдаемом объекте. Указанное взаимное ограничение применимости классических понятий находит свое количественное выражение в соотношениях неопределенностей» [Алексеев, 1978, с. 36–37].

Однако И.С. Алексеев проходит мимо тезиса Н. Бора о включении наблюдателя в сам аппарат методологии физики (это позволяет И.С. Алексееву в конце его книги о дополнительности построить боровскую концепцию в контекст тезисов К. Маркса о Фейербахе, где нет «наблюдателя», а в качестве субъекта выступает общественно-историческая практика). Между тем этот тезис существенен для байесинизма, более того – служит его отправной точкой.

И.С. Алексеев не цитирует те высказывания Н. Бора, где тот непосредственно говорит о наблюдателе, о человеке, проводящем физический эксперимент и фиксирующем его результат. Н. Бор, однако, писал, что, «рассматривая атомную физику, мы должны считать “наблюдателя” или “субъекта” принципиально важным, поскольку атомная теория учитывает его специфический характер, рассматривая его



непрерывное присутствие (и присутствие его измеряющих устройств) в физическом объекте, который мы исследуем» [Bohr, 1929, p. 132].

Вводя «наблюдателя» в аппарат физической теории, Н. Бор ссылался не только на квантовую механику, но и на теорию относительности: «...теория относительности напоминает нам о субъективном характере всех физических явлений, о специфике, которая непосредственно зависит от состояния наблюдателя» [Ibid.]

В другой статье Бор писал следующее: «Невозможность недвусмысленного разделения пространства и времени без ссылки на наблюдателя и невозможность резкого разделения объектов и их взаимодействия со средствами наблюдения являются прямыми следствиями максимальной скорости всех действий и минимальной величины всякого действия соответственно» [Bohr, 1949, p. 215].

Игнорируя подобные высказывания Бора, И.С. Алексеев неявно следовал советской традиции трактовать копенгагенскую интерпретацию с позиции диалектического материализма, традиции, к которой он сам относился весьма критически. Эта традиция представлена не только философами, но и физиками, в том числе и такими крупными, как В.А. Фок. В.А. Фок выдвигал свою интерпретацию квантовой механики, в центре которой был мысленно разделенный на стадии опыт. Здесь же имеются в виду те оговорки, которые делал В.А. Фок, излагая позицию Н. Бора. «В статье Бора, – писал В.А. Фок, – встречаются... неточные выражения, подобные следующим: “наши знания положения диафрагмы”, “наши знания показания часов” и т.п., тогда как на самом деле речь идет не о нашем знании, а об объективных фактах, например, о той точности, с которой можно установить соответствие между показаниями данных часов и показаниями лабораторных часов. В подобных выражениях “мы” и как бы отождествляем себя с “лабораторией”. Поэтому не следует думать, что употребление таких выражений отражает субъективистскую точку зрения Бора, несомненно, это просто небрежность» [Фок, 1958, с. 602].

Другой крупный советский физик М.А. Марков писал следующее: «Что же касается до философских высказываний самого Бора, то он настолько небрежен в своей терминологии, что иногда его можно упрекнуть в агностицизме, иногда в субъективном идеализме, но чаще всего в позитивизме» [Марков, 2009, с. 96].

Итак, субъективный идеализм и позитивизм – это не философские позиции, а то, в чем можно «упрекнуть».

Байесинисты, наоборот, ставят во главу субъективистские высказывания Н. Бора и В. Гейзенберга, но и для них копенгагенская интерпретация непоследовательна. Это «смесь», «омлет» различных точек зрения и дальнейший прогресс в философии квантовой физики состоит в уточнении этой позиции. Между тем надо ответить на следующие вопросы: «Что представляет волновая функция – неопреде-



ленность экспериментатора в отношении результатов опыта или основополагающую физическую реальность?» [Pursey, Burrett, Rudolph, 2012, p. 158]. «Соответствует ли квантовое состояние реальности? Или чистое квантовое (представляемое волновой функцией. – А.П.) состояние представляет только наше знание о некотором аспекте реальности?» [Reich, 2012, p. 158].

Как мы видели (см. изложение И.С. Алексева), копенгагенская интерпретация концентрирует внимание на квантовом явлении, на принципиально неделимом единстве средств наблюдения и эксперимента, с одной стороны, и микрочастицы – с другой. Если мы измеряем координату частицы (скажем, электрона), то должны использовать один тип приборов, если импульс – то другой тип. Упоминание наблюдателя (человека, осуществляющего опыт) существенно. Именно наблюдатель решает, какой прибор использовать (прибор для измерения координаты или прибор для измерения импульса). При этом само понятие прибора предполагает человека, научного работника, включающего и выключающего прибор и фиксирующего состояние прибора до и после акта измерения.

Поскольку нельзя одновременно измерить координату и импульс, используются два типа приборов, и наблюдатель, включенный в ситуацию с измерением импульса, не совпадает с наблюдателем, включенным в ситуацию, возникающую при измерении координаты (дополнительность по Бору).

Что же является определяющим, когда речь идет о квантовом явлении, – человек, осуществляющий эксперимент и наблюдение, или природа? С точки зрения байесинизма, «наблюдатель» (байесинисты пользуются здесь словом «агент») является определяющим. Получаемая им информация и составляет то, что называют квантовым явлением. Другой наблюдатель – другое квантовое явление. Ведь квантовое явление предполагает заверченный опыт, опыт, который характеризуется каким-то результатом, например, результатом, что импульс частицы равен a кГсм/сек. Другой наблюдатель получит другой результат. Пусть оба наблюдателя используют одну и ту же аппаратуру. Но каждый опыт отмечен тем временем, когда этот опыт проводится. Пусть часы у обоих наблюдателей синхронизированы. Но синхронизация часов – это тоже опыт, и он принадлежит какому-либо из наблюдателей или третьему наблюдателю, владеющему соответствующей аппаратурой. «Невыполненный опыт не имеет результата», – говорил Ашер Перес (1978 г.), специалист в области квантовой информатики, критически оценивая мысленные эксперименты, популярные при изложении квантовой механики с копенгагенской точки зрения. Опыт, однако, предполагает человека (агента, наблюдателя), производящего этот опыт. Прибор сам по себе опыт не производит.



Проблема измерения

Что происходит при измерении той или иной физической величины, характеризующей физическую систему? Это один из сложных вопросов интерпретации квантовой механики. Приведем трактовку этого вопроса с копенгагенской точки зрения, точнее – ту трактовку, которую дает цитированный выше И.С. Алексеев, излагая копенгагенскую интерпретацию квантовой механики.

Правда, И.С. Алексеев начинает свой анализ измерения, воспроизведя позицию И. фон Неймана, который, собственно, и создал квантовую теорию измерения, излагая ее в своей книге «Математические основы квантовой механики» (1932 г., русский перевод – 1962 г.).

Фон Нейман различал два типа изменений, которые может претерпевать физическая система, рассматриваемая в квантовой механике. Изменения первого типа – это разрывные, непричинные и мгновенно действующие эксперименты (измерения), отображаемые в математическом аппарате квантовой механики как необратимые переходы состояния в смесь. Они не подчиняются уравнению Шредингера, которое описывает лишь изменения 2-го типа, изменения системы с течением времени в отсутствие измерений.

«Существенно, – пишет И.С. Алексеев, обращаясь опять к копенгагенской интерпретации, – что неподчинение изменений первого типа уравнению Шредингера обусловлено тем, что, согласно фон Нейману, мы не можем рассматривать квантово-механическую систему саму по себе, изолированно от измерительного прибора. Это явный учет боровского требования целостности процесса измерения. Для более широкой системы “объект плюс прибор” уравнение Шредингера написать можно, что дает возможность проследить процесс взаимодействия “микрообъект + прибор” с помощью квантово-механического формализма, т.е. представить его как взаимодействие 2-го типа. Для этого состояние прибора должно быть задано не на классическом языке, а на языке формализма квантовой механики.

Далее фон Нейман показывает, что применение уравнения Шредингера к процессу взаимодействия “объект + прибор” приводит после наблюдения результатов этого взаимодействия (при помощи нового прибора!) к тем же результатам, что и измерение объекта с помощью прежнего прибора. Этот факт составляет содержание “принципа психо-физического параллелизма”, который соответствует положению Бора о возможности перемещения концептуальной границы между тем, что в составе явления считается относящимся к объекту, и относящимся к прибору.

В итоге оказывается, что фон Нейман вовсе не противостоит Бору в трактовке процесса измерения – он скорее дает математическое



воплощение боровских идей, демонстрируя их глубину и плодотворность» [Алексеев, с. 158].

В процитированном выше отрывке остается, правда, неясным, кто проводит границу между объектом и прибором. Как отмечалось выше, роль субъекта (наблюдателя) в изложении копенгагенской интерпретации квантовой механики у И.С. Алексеева остается затуманенной. Между тем, согласно Н. Бору, именно присутствие наблюдателя делает экспериментальное устройство прибором. Именно наблюдатель принимает решение сместить границу между субъектом и объектом и рассматривать систему «объект + прибор» как некий новый объект, исследуемый при помощи нового прибора – прибора штрих. Этот новый объект становится квантовой системой, эволюционирующей в соответствии с законами квантовой механики. Новый же прибор («прибор штрих») описывается на языке классической физики, на том языке, на котором мы общаемся между собой и который понятен окружающим.

Возможно, впрочем, еще одно смещение и образование системы «объект + прибор + прибор штрих», которая рассматривается наблюдателем при помощи аппарата «прибор два штриха». Снова наблюдатель описывает «прибор два штриха» как систему, действующую в соответствии со здравым смыслом, дополненным представлениями классической физики. Более того, именно наблюдатель осуществляет переход от системы «объект + прибор» к системе «объект + прибор + прибор штрих».

Квантовый байесинизм, однако, видит здесь скорее проблему, чем решение проблемы. Значит, все зависит от волевого решения наблюдателя, скажет байесинист. Но нужно четко определить, что же все-таки решает субъект (наблюдатель), включенный в проблемное поле квантовой механики.

Рассмотрим проблему измерения в самом простом ее варианте (чистое состояние, представляемое волновой функцией, – в отличие от смешанного состояния, представляемого матрицей плотности). В квантовой механике речь идет о двух процессах, касающихся эволюции этого чистого состояния: 1) эволюция в соответствии с уравнением Шредингера, эволюция чистого состояния в новое чистое состояние, 2) процесс измерения – чистое состояние, представленное как суперпозиция базисных состояний (тоже, конечно, чистых), переходит в одно из этих базисных состояний. Подробнее: система, находящаяся в чистом состоянии, переходит скачком в одно из базисных состояний, вытекающих из той проблемы, которую решает измерение. Если речь идет об измерении импульса микрочастицы, то система переходит в одно из собственных состояний оператора импульса (мы представляем то состояние, которое мы получили в результате решения уравнения Шредингера, в виде суперпозиции собственных состояний оператора импульса, далее – измерение дает нам одно



из собственных значений этого оператора, значит, система перешла в соответствующее собственное состояние этого оператора – в собственное состояние, соответствующее возникшему в результате измерения собственному значению).

Вышеприведенное рассуждение содержится во всех учебниках по квантовой механике. Заметим только, что дискретный скачкообразный переход суперпозиционного состояния в один из элементов этой суперпозиции называется редукцией волнового пакета. Такой термин был применен одним из создателей квантовой механики П.А.М. Дираком в 1927 г. (см. также фон Нейман). Сейчас он применяется не во всех изложениях квантовой механики. Но байесинисты употребляют этот термин. Вслед за ними мы будем называть редукцией скачкообразный переход системы в одно из собственных состояний измеряемой величины.

В концептуальном плане проблема измерения несет две проблемы: 1) нарушается однородность в изложении квантовой механики (кроме временной эволюции квантовой системы, эволюции, предполагаемой математическим аппаратом квантовой механики, возникает еще один процесс, выпадающий из квантовой динамики), 2) нет строгого правила, когда следует применять квантовую динамику, а когда обращаться к понятию редукции. Ведь измерение – это тоже физический процесс, и как таковой он должен подчиняться квантовой динамике.

«Проблема измерения в квантовой механике проистекает из того факта, что существуют два постулата, описывающих динамику квантового состояния любой системы. Первый постулат утверждает, что состояние эволюционирует согласно уравнению Шредингера, которое линейно и унитарно, и следовательно, переводит суперпозиционное состояние в другое суперпозиционное состояние. Другой постулат, постулат редукции, утверждает, что при измерении волновая функция коллапсирует и это состояние проектируется в одно из собственных состояний наблюдаемой, которая измеряется. Эти два закона не ведут к одному и тому же результату. Нету ясного правила, которое указывало бы, какой из этих постулатов следует применить. Проблема состоит в том, чтобы объяснить, почему при измерении достигается только один результат из многих возможных. Квантовый байесинизм решает эту проблему очень просто. Во-первых, унитарная эволюция касается перехода от той веры, которую агент (“наблюдатель” в принятой терминологии. – А.П.) имеет при t_0 , к вере, которую он имеет при t_0 относительно того результата, который мог бы быть получен при $t_1 > t_0$. Во-вторых, для байесиниста измерение есть опыт агента. С самого начала байесинисты допускают, что непосредственное осознание личного опыта агента (наблюдателя) есть только явление, доступное агенту, явление, которое не моделируется в квантовой механике и возникает в результате его опыта. Следовательно,



нету больше сомнений, когда использовать постулат редукции, так как этот постулат ничего не говорит о “реальном состоянии” системы, относительно которой производится измерение, и в нем нет ничего иного, кроме как обновления (приведения к нынешнему моменту) состояния агента на базе его же опыта» [Zwirn, 2019].

«Измерение не происходит, – продолжает Цвирн, – если нет агента: прибор Штерна – Герлаха не может сам по себе измерить спин частицы. Кубисты здесь расходятся с копенгагенской интерпретацией, поскольку она в явном виде не подчеркивает роль агента, в том, что называется измерением, а делает упор на приборах».

Прибор для байесиниста не есть объективная реальность, с которой он вынужден считаться. Прибор – это не просто созданная человеком конструкция из железа, хрома, пластика, полупроводников и т.д. Прибор – это непосредственное продолжение человека, являющегося наблюдателем (агентом), продолжение наподобие очков или протеза.

Декогеренция

В конце прошлого века и в нынешнем веке «декогеренция» стала заметной проблемой не только методологии физики, но и самой физики [Кадомцев, Кадомцев, 1996; Менский, 2000; 2005].

Чтобы понять проблематику, которую здесь видит байесинист, надо вернуться к проблеме измерения, которая была очерчена в предыдущей секции в упрощенном виде – как проблема редукции суперпозиции к одному из ее элементов.

Мы рассматриваем композицию «система + измерительный прибор». В соответствии с законами квантовой механики волновая функция, представляющая эту систему, переходит в волновую функцию, представляющую эту композицию, после того как система и измерительный прибор провзаимодействовали друг с другом (произошло измерение). Однако мы имеем волновую функцию в виде суперпозиции. Эта волновая функция не дает нам информации о тех характеристиках системы, которые мы измеряем. Чтобы получить эту информацию, надо иметь не суперпозицию, а смесь, не чистое состояние, а смешанное, выражаемое матрицей плотности. «Так называемая проблема измерения в квантовой механике состоит в том, что в результате взаимодействия физической системы и измерительного устройства должна возникнуть смесь, смешанное состояние, фиксирующее показания прибора. В соответствии же с формализмом квантовой механики мы получаем суперпозицию, на языке которой показания прибора оказываются неразличимыми» [Redhead, 1989, p. 53].



Одно из решений этой проблемы состоит в том, что вводятся два типа эволюции квантовой системы: унитарная эволюция в соответствии с временным уравнением Шредингера и другого типа эволюция, которая ведет от исходного чистого состояния, описывающего исходную систему «объект + измерительный прибор», к смешанному состоянию, возникающему после взаимодействия объекта с измерительным прибором. Именно смешанное состояние, выражаемое матрицей плотности, несет ту информацию, которую можно наблюдать: элементы матрицы плотности и суть те значения измеряемой величины, которые наблюдатель снимает с прибора.

Возникновение смешанного состояния и называется декогеренцией. Особенность современного этапа в изучении этого явления состоит в том, что декогеренция рассматривается не как мгновенный «скачок», а как протекающий во времени процесс, доступный экспериментальному и теоретическому анализу [Zwirn, 2016]. Согласно байесинизму, декогеренция не вносит ничего нового в понимание измерения (возможно, в этом утверждении и заключается слабость позиции байесинизма). Процесс измерения протекает так, как он описан в предыдущей секции. Он состоит «в воздействии агента на окружающий мир и в непредсказуемом ответе мира агенту, ответе, который ведет к новому состоянию знания о системе» [Fuchs & Schack, 2012].

Однако декогеренция позволяет объяснить классический образ мира, которым располагает всякий образованный человек. Почему мир выглядит так, как ему предписывает классическая физика? Ведь он по своей сути подчиняется законам квантовой механики? Мы никогда не видим квантовую суперпозицию и спутанные состояния. Однако видели ли вы когда-нибудь вероятностные распределения? «Вероятности с точки зрения байесинизма – не то, что мы видим или можем увидеть, мы думаем о вероятностях. Видим же мы события» [Fuchs & Stacey, 2019].

Байесинистская интерпретация квантовой механики: пять пунктов

Как отмечалось выше, байесинизм – это субъективистская персоналистическая интерпретация вероятности, вероятности как степени веры. Но квантовая механика оперирует не только вероятностями, центральный объект квантовой механики – это волновая функция, выражающая состояние физической системы. Каким образом байесинистская интерпретация вероятности распространяется на квантовую механику?



В *Википедии* байесинистская интерпретация квантовой механики формулируется в виде четырех пунктов. В *Стэнфордской философской энциклопедии* информация сжата до трех тезисов. Приведем здесь пять пунктов, суммирующих те изложения, которые присутствуют в обзорных статьях и энциклопедиях.

1) Квантовая система – это эпистемическое состояние того, кто мыслит об этой системе, имея в виду возможные будущие опыты.

2) С точки зрения квантового байесинизма волновая функция представляет знание наблюдателя о физической системе (скажем, об электроны), и разные наблюдатели, использующие одну и ту же волновую функцию, будут, вообще говоря, обладать разными знаниями. Отсюда не следует, что один наблюдатель не может взаимодействовать с другим наблюдателем. Один наблюдатель может, опираясь на свою волновую функцию (или, лучше сказать, предполагая свое представление физической системы в виде волновой функции), вычислить то знание о физической системе, которое доступно другому наблюдателю. Тем не менее это знание не будет знанием другого наблюдателя. Это будет знание первого наблюдателя о том знании, которое мог бы получить другой наблюдатель, экспериментируя с той же физической системой. Квантовая механика применима лишь к моему опыту, а не к опыту какого-либо другого исследователя. Метанаблюдатель, олицетворяющий коллективный опыт, отсутствует.

3) Кубизм отрицает, что уравнение Шредингера – динамический закон, управляющий эволюцией квантовой системы. Уравнение Шредингера передает опыт наблюдателя, рассмотренный в плане диахронии, эволюцию опыта наблюдателя в его персональном личном времени.

4) Измерение – это опыт наблюдателя. Как отмечалось выше, «редукция волнового пакета» не является физическим процессом. Это процесс, происходящий в сознании наблюдателя, приводящего к текущему моменту ту информацию, которая в сумме характеризует микрочастицу и макроприбор.

Прибор сам по себе не создает результат. Он участвует в получении результата, поскольку применяется тем или иным исследователем (наблюдателем).

5) Вероятность, к которой приводит расчет того результата, который мог бы дать эксперимент, является субъективной персональной вероятностью байесовского типа. Скажем еще раз, что вероятность – это степень веры исследователя (наблюдателя) в реализацию того или иного события, та ставка, которую он мог бы поставить при заключении пари, что данное событие произойдет.

Квантовый байесинизм – одна из философских позиций, возникших в связи с теми изменениями в концептуальном аппарате квантовой механики, которые произошли во второй половине и особенно



к концу XX в. Это изменения связаны с развитием квантовой информатики – дисциплины, объединяющей квантовую телепортацию, квантовую криптографию, квантовые компьютеры. «Развитие квантовой механики особенно в последние два-три десятилетия сделало учет сознания наблюдателя совершенно необходимым при обсуждении концептуальных основ квантовой механики, и с некоторыми оговорками можно сказать, что вопрос о роли сознания стал доступен экспериментальной проверке» [Менский, 2001, с. 461]

Квантовый байесинизм – одна из философских позиций, получивших популярность в последнее время. Другая позиция, также учитывающая роль сознания в контексте квантовой механики, – это, например, многомировая интерпретация квантовой механики, развиваемая только что цитируемым М. Менским. Здесь сознание наблюдателя «расщепляется» на ряд сознаний, присутствующих каждое в своем мире. Если систему «электрон + прибор + наблюдатель» описывает математическая конструкция, состоящая из N элементов (см. выше), то измерение происходит в N мирах. Как сказано в *Стэнфордской энциклопедии по философии*, «существуют миллиарды миров, кроме того мира, который мы осознаем. Если какой-то квантовый опыт выполняется, все его возможные результаты осуществляются, но каждый в своем мире»

Историко-философские предпосылки

Квантовые байесинисты обычно указывают на американский прагматизм как на источник вдохновения и идей (Vovens, Hartman, 2004; Zwirn, 2019). Действительно, Дж. Дьюи может рассматриваться как один из предшественников этой философии, поскольку он рассматривал человеческое знание как один из тех инструментов, которые создал человеческий организм, чтобы справляться с загадками природы.

«Последней сущностью» в философии Дьюи можно считать «опыт». Дьюи выдвинул «еретический» тезис: «Опыт – не занавес, скрывающий от человека природу... В опыте воспринимается не опыт, но природа – камни, растения, животные, болезни, здоровье, температура, электричество и так далее, включая “преданность, благочестие, любовь, красоту и тайну”». Иначе говоря, “опыт” обозначает все на свете, буквально все. Интеллектуальное благоговение перед этим “все”, его сознательное и постоянное исследование ради достижения фактов и ценностей, света и ориентира, поддержки и обновления являются, с точки зрения Дьюи, предпосылками интеллектуальной, моральной и религиозной целостности человека. Ошибки философов и вообще всех людей проистекали “из отсутствия доверия к направляющим силам, внутренне присущим опыту, следовать



которым могут только смелые и мужественные люди”» [Гуманитарный портал].

Индивидуализм байесинизма сродни субъективизму американского философа и физика, лауреата Нобелевской премии за работы в области высоких давлений П. Бриджмена [Печенкин, 1972]. В одной из своих поздних философских книг П. Бриджмен писал, что «существует столько наук, сколько есть индивидов. Моя наука отличается от вашей науки, как моя боль отличается от вашей боли» (цитируется по упомянутой статье, с. 70).

Сторонники квантового байесинизма редко высказываются по вопросам онтологии. Но если они высказываются, то имеют в виду онтологию «тонкого мира», мира, который всегда может измениться, если изменяется опыт. Это вроде того, о чем писал поэт: «Сережка ольховая... Но сдуешь ее – все окажется в мире не так... Когда изменяемся мы, изменяется мир».

Список литературы

Алексеев, 1978 – *Алексеев И.С.* Концепция дополнительности. Историко-методологический анализ. М.: Наука, 1978, 282 с.

Гуманитарный портал – Джон Дьюи // Гуманитарный портал. <https://gtmarket.ru/personnels/john-dewey> (дата обращения: 06.03.2020).

Кайберг, 1978 – *Кайберг Г.* Вероятность и индуктивная логика / Пер. с англ. М.: Прогресс, 1978, 376 с.

Кадомцев Б., Кадомцев М., 1996 – *Кадомцев Б.Б., Кадомцев М.Б.* Коллапсы волновых функций // УФН. 1996. Т.166. № 6. С. 651–659.

Марков, 2009 – *Марков М.А.* О трех интерпретациях квантовой механики. М.: URSS, 2009, 112 с.

Менский, 2000 – *Менский М.Б.* Квантовая механика: новые эксперименты, новые приложения и новые формулировки старых вопросов // УФН. 2000. Т. 170. № 6. С. 630–636.

Менский, 2001 – *Менский М.Б.* Квантовое измерение, декогеренция и сознание // УФН. 2001. Т. 171. № 4. С. 459–462.

Менский, 2005 – *Менский М.Б.* Понятие сознания в контексте квантовой механики // УФН. 2005. Т. 175. № 4. С. 413–435.

Печенкин, 1972 – *Печенкин А.А.* Операционалистская трактовка философии науки у П. Бриджмена // Концепции науки в буржуазной философии и социологии / Под ред. П.П. Гайденко, Н.И. Родного. М.: Наука, 1973. С. 53–73.

Фок, 1958 – *Фок В.А.* Замечания к статье Бора о его дискуссиях с Эйнштейном // УФН. 1958. Т. 66. Вып. 4. С. 599–602.

Bohr, 1929 – *Bohr N.* Die Atomtheorie und die Prinzipien der Naturbeschreibung // Die Naturwissenschaften. 1929. 18. S. 53–78. [Цит. по кн.: *Jammer, M.* The Philosophy of Quantum Mechanics. N.Y.: J. Wiley and Sons, 1974. 536 p.]

Bohr, 1949 – *Bohr N.* Discussion with Einstein on Epistemological Problems In Atomic Physics // The Library of Living Philosophers, vol. 7. Albert Einstein: Philosopher-Scientist / Ed. by P.A. Schilpp. Open Court, 1949. Pp. 199–241.



De Finetti, 1937 – *De Finetti B.* La Prévision: ses lois logiques, ses sources subjectives // *Annales de l'Institut Henry Poincaré.* 1937. Vol. 7. Pp. 1–68. [Англ. Пер.: *De Finetti B.* Foresight: Its Logical Laws, Its Subjective Sources // *Studies in Subjective Probability*, 2nd ed. / Ed. by H.E. Kyburg, H. Smokler. N.Y.: Robut E. Krieger Publishing Co., 1980. Pp. 53–118.]

Fuchs & Schack, 2012 – *Fuchs C., Schlack R.* Bayesian Conditioning, The Reflection Principle, And Quantum Decoherence // *Probability in Physics* / Ed. by Y. Ben-Menahem and M. Hemmo. Berlin: Springer, 2012. Pp.233–247.

Fuchs, Stanley, 2019 – *Fuchs C.A., Stacey B.C.* QBism: Quantum Theory as a Hero's Handbook // *Proceedings of the International School of Physics "Enrico Fermi," Course 197 – Foundations of Quantum Physics* / Ed. by E.M. Raseil, W.P. Schleich & S. Wölk. Italian Physical Society, 2019. arXiv:1612.07308.

Pursey, Barrett, Rudolph, 2012 – *Pursey M., Barrett J., Rudolph T.* On the Reality of The Quantum State // *Nature Physics. Articles.* 2012. Published online. DOI: 10.1038/NPHYS 2309.

Redhead, 1989 – *Redhead M.* Incompleteness, Nonlocality and Realism. Oxford: Clarendon Paperbook, 1989, 200 p.

Reich, 2012 – *Reich E.S.* A Boost for Quantum Reality // *Nature.* 2012. Vol. 485. P. 157–158.

Zwirn, 2016 – *Zwirn H.* The Measurement Problem: Decoherence and Convivial Solipsism // *Found. of Physics.* 2016. Vol. 46. Pp. 635–667.

Zwirn, 2019 – *Zwirn H.* Is Qbism a Possible Solution to the Conceptual Problems of Quantum Mechanics? // arXiv preprint. 2019. arXiv: 1912.11636.

References

Alexeev, I.S. *Kontseptsiya dopolnitel'nosti. Istoriko-metodologicheskii analiz* [The Concept of Complementarity: Methodological Analysis]. Moscow: Nauka, 1978, 282 pp. (In Russian)

Bohr, N. “Die Atomtheorie und die Prinzipien der Naturbeschreibung”, *Die Naturwissenschaften*, 1929. Vol. 18. S. 73–78. [Citation: Jammer, M. *The Philosophy of Quantum Mechanics.* New York: J. Wiley and Sons, 1974, 536 pp.]

Bohr, N. “Discussion with Einstein on Epistemological Problems in Atomic Physics”, in: Schilpp, P.A. (ed.) *The Library of Living Philosophers, vol. 7. Albert Einstein: Philosopher-Scientist.* Open Court, 1949, pp. 199–241.

De, Finetti B. La Prévision: “Ses Lois Logiques, Ses Sources Subjectives”, *Annales de l'Institut Henry Poincaré*, 1937, vol. 7, pp. 1–68. [Eng. Trans.: De Finetti, B. “Foresight: Its Logical Laws, Its Subjective Sources”, in: Kyburg, H.E., Smokler, H. (eds.) *Studies in Subjective Probability*, 2nd ed. New York: Robut E. Krieger Publishing Co., 1980, pp. 53–118.

Fock, V.A. “Zamechaniya k stat'e Bora o ego diskussiyakh s Einsteynom” [Comments on the Bohr's Paper about His Discussions with Einstein], *Uspekhi Fizicheskikh Nauk*, 1958, vol. 66, iss. 4, pp. 599–602. (In Russian)

Fuchs, C., Schlack, R. “Bayesian Conditioning, The Reflection Principle, And Quantum Decoherence”, in: Ben-Menahem, Y. and Hemmo, M. (eds.) *Probability in Physics.* Berlin: Springer, 2012, pp. 233–247.



Fuchs, C.A., Stacey, B.C. “QBism: Quantum Theory as a Hero’s Handbook”, in: Raset, E.M., Schleich, W.P. & Wölk, S. (eds.). *Proceedings of the International School of Physics “Enrico Fermi”, Course 197 – Foundations of Quantum Physics*, 2019, Italian Physical Society. ArXiv:1612.07308.

“John Dewey”, *Gumanitarnyi portal* [Portal for the Humanities]. [[https:// https://gtmarket.ru/personnels/john-dewey](https://gtmarket.ru/personnels/john-dewey), accessed on 06.03.2020] (In Russian)

Kadomtzev, B., Kadomtsev, M. “Kollapsy volnovykh funktsii” [The Wave Function Collapses], *Uspekhi Fizicheskikh Nauk*, 1996, vol. 166, no. 6, pp. 651–659. (In Russian)

Kyburg, H.E. *Veroyatnost’ i induktivnaya logika* [Probability and Inductive Logic]. Moscow: Progress, 1978, 367 pp. (In Russian)

Markov, M.A. *O trekh interpretatsiyakh kvantovoi mekhaniki* [On the Three Interpretations of Quantum Mechanics]. Moscow: URSS, 2009, 112 pp. (In Russian)

Menskiy, M.B. “Kvantovaya mekhanika: novye eksperimenty, novye prilozheniya i novye formulirovki starykh voprosov” [Quantum Mechanics: New Experiments, New Applications and New Formulations of the Old Problems], *Uspekhi Fizicheskikh Nauk*, 2000, vol. 170, pp. 632–648. (In Russian)

Menskiy, M.B. “Kvantovoe izmerenie, dekoherentsiya i soznanie” [Quantum Dimension, Decoherence and Consciousness], *Uspekhi Fizicheskikh Nauk*, 2001, vol. 171, no. 4, pp. 459–462.

Menskiy, M.B. “Ponyatie soznaniya v kontekste kvantovoi mekhaniki” [The Concept of Consciousness in Quantum Mechanics], *Uspekhi Fizicheskikh Nauk*, 2005, vol. 175, pp. 413–435. (In Russian)

Pechenkin, A.A. “Operatsionalistskaya traktovka filosofii nauki u P. Bridzhmena” [The Operationalist Interpretation of the Philosophy of Science by P. Bridgman], in: Gaidenko, P.P. (ed.). *Kontseptsii nauki v burzhuaznoi filosofii i sotsiologii* [The Conceptions of Science in Bourgeois Philosophy and Sociology]. Moscow: Nauka, 1973, pp. 53–73. (In Russian)

Purse, M., Barrett, J., Rudolph, T. “On the Reality of the Quantum State”, *Nature Physics*. 2012. Published online. DOI: 10.1038/NPHYS 2309.

Redhead, M. *Incompleteness, Nonlocality and Realism*. Oxford: Clarendon Paperbook, 1989, 200 pp.

Reich, E.S. “A Boost for Quantum Reality”, *Nature*, 2012, vol. 485, pp. 157–158.

Zwirn, H. “Is Qbism a Possible Solution to the Conceptual Problems of Quantum Mechanics?”, arXiv: 1912.11636.

Zwirn, H. “The Measurement Problem: Decoherence and Convivial Solipsism”, *Found. of Physics*, 2016, vol. 46, pp. 635–667.