

DOI: 10.22363/2224-7580-2023-4-78-86

EDN: WJUAQX

КОНФЕРЕНЦИЯ «ДВА ДНЯ ИСТОРИИ И ЭПИСТЕМОЛОГИИ КВАНТОВЫХ ИНТЕРПРЕТАЦИЙ»

А.А. Печенкин

*Философский факультет Московского государственного университета
имени М.В. Ломоносова*

*Российская Федерация, 119991, ГСП-1, Москва, Ленинские Горы,
Учебный корпус «Шуваловский»*

*Институт истории естествознания и техники им. С.И. Вавилова РАН
Российская Федерация, 125315, Москва, ул. Балтийская, д. 14*

Аннотация. 17–18 апреля 2023 года в Париже состоялась Международная конференция, посвященная проблемам истории и философии квантовой физики, собравшая физиков, философов и историков науки Европы, Америки и Австралии. На конференции обсуждались как вопросы, поставленные на повестку дня квантовыми технологиями, так и традиционные философские вопросы квантовой механики. Конференция была связана с презентацией книги «Оксфордское руководство по квантовым интерпретациям» (2022 г.), и большинство докладчиков были авторами этой коллективной работы.

Ключевые слова: история, эпистемология, теория, эмпирия, измерение, контекст, спутанные состояния, квантовая телепортация

Предварительные замечания

14 и 15 апреля 2023 года в Париже состоялась конференция «Two days on history and epistemology of the foundations of quantum mechanics» («Два дня об истории и эпистемологии оснований квантовой механики»). Конференция была организована Department de physique Université Paris Cité, Universidade Federal de Bahia, ARCHIMEES S.I.E.E. Project, SHPERE-UMRS7219-CNRS, APC.

Конференция была связана с презентацией и обсуждением книги «The Oxford Handbook of the History of Quantum Interpretations» (Oxford University Press, 2022), обширной книги по философии и истории квантовой механики, в которой в качестве авторов приняли участие научные работники и преподаватели из Англии, Франции, США, Канады, Бразилии, Австралии и России.

Большинство участников конференции – авторы статей, помещенных в этой книге. Однако с докладами выступили также физики, философы и историки, не входящие в число авторов. В их числе были два Нобелевских лауреата – Роджер Пенроуз (Нобелевская премия по физике 2020 г.) и Алайн Аспе (Нобелевская премия по физике 2022 г.).

В преамбуле, выпущенной организаторами конференции, сказано, что «за последние несколько лет повысился интерес к основаниям квантовой механики. Чем это объясняется? В первую очередь здесь надо указать на возникшую за последние двадцать лет техническую возможность проводить реально эксперименты, которые ранее относились к мысленным экспериментам. Эти эксперименты не только полностью подтвердили квантовую механику. Они указали путь к новым технологиям и создали новую ситуацию в квантовой криптографии, в квантовых вычислениях, ввели в действие измерение, не предполагающее взаимодействие.

Рассматривая различные интерпретации квантовой механики, мы находим в них элементы, сопротивляющиеся строгому и исчерпывающему формулированию. По-видимому, наши пробелы в понимании мира еще не были должным образом оценены и нам следует еще раз обратиться к проблемам, которыми интересовались Гейзенберг, Паули и Уиллер. Если имеют смысл размышления о более глубоких основаниях квантовой механики, то имеет смысл и вопрос о философских предпосылках этого теоретизирования».

Конференция не имела «табеля о рангах». Всем докладчикам было предоставлено 20 минут, все доклады, кроме одного, произносились на английском языке, почти все доклады вызвали вопросы и комментарии. Разумеется, доклады нобелевских лауреатов привлекли большее внимание.

1. Доклад А. Аспе

В докладе, сделанном А. Аспе, речь шла о его (с соавторами) знаменитых экспериментах, касающихся оснований квантовой механики. В 1980-х годах Аспе с сотрудниками провел исследования, вылившиеся в статьи «Экспериментальная проверка реалистической локальной теории посредством теоремы Белла», «Экспериментальная реализация мысленного эксперимента Эйнштейна – Подольского – Розена – Боба: новое нарушение неравенства Белла», «Экспериментальная проверка неравенства Белла, использующая анализаторы с меняющимися во времени параметрами».

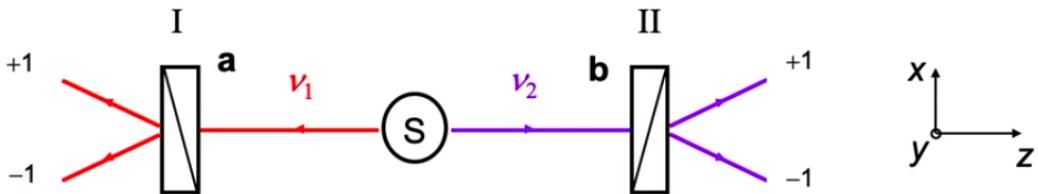
Как известно, эти эксперименты выявили нарушение неравенства Белла, вытекающего из квантовой механики при гипотезе о наличии так называемых скрытых переменных, параметров системы, которые существуют до измерения и объясняют те результаты, которые получаются в результате измерения. Точнее, неравенство Белла было выведено при предположении о наличии «локальных» скрытых переменных, сводящих квантовую механику к уточненной версии классической статистической физики.

Неравенство Белла было выдвинуто Дж. Беллом при формализации (то есть соответственно математизации) мысленного эксперимента Эйнштейна – Подольского – Розена, призванного показать неполноту квантовой механики. Точнее, это неравенство явилось результатом математической обработки эксперимента Эйнштейна – Подольского – Розена в той формулировке, которую ему придал Д. Бом (в оригинальной версии речь идет о реальности

координаты и импульса электрона, Д. Бом в свою очередь рассуждал о спине электрона, а затем – о поляризованных фотонах).

Аспе следующим образом резюмировал свой доклад, описывающий историю идей, связанных с мысленным экспериментом Эйнштейна–Подольского–Розена, и вклад этого эксперимента в проблематику оснований квантовой теории: 1) аргументация Эйнштейна – Подольского – Розена, базирующаяся на идее релятивистской локальности, 2) Дж. Белл демонстрирует, что эйнштейновский локальный реализм потенциально противоречит основаниям квантовой механики, 3) экспериментальная проверка неравенства Белла показывает, что локальный реализм недопустим, 4) квантовая нелокальность оказывается плодотворной интуицией, ведущей к развитию квантовых технологий.

Аспе описывает вывод неравенства Белла, опираясь на следующую, вообще говоря, известную схему: S производит пары фотонов, распространяющихся в противоположных направлениях. Каждый из фотонов попадает в свой двухканальный поляризатор, чья ориентация может контролироваться экспериментатором. Но в рассуждениях Аспе главное место занимают термины – релятивистская локальность и спутанные (entangled) состояния.



Для спутанного состояния

$$|\psi(v_1 v_2)\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} \{ |x, x\rangle + |y, y\rangle \}$$

квантовая механика предсказывает результаты, которые в отдельности случайны, но строго коррелируют друг с другом:

$$P_+(a) = P_-(a) = 1/2$$

$$P_+(b) = P_-(b) = 1/2$$

$$P_+(a, b) = P_-(a, b) = \frac{1}{2} \cos^2(a, b)$$

$$P_-(a, b) = P_-(a, b) = \frac{1}{2} \sin^2(a, b)$$

$$P_{++}(0) = P_{--}(0) = 1/2$$

$$P_{+-}(0) = P_{-+}(0) = 0$$

А теперь о скрытых переменных. Пусть два фотона при их испускании получают свойство λ , которое определяет результаты измерений, осуществляемых I и II.

Это свойство меняется от одной пары фотонов к другой (более точно – поляризация случайно распределена по парам фотонов).

$$A(\lambda, a) = +1 \vee -1 \text{ (поляризатор I)}$$

$$B(\lambda, b) = +1 \vee -1 \text{ (поляризатор II)}$$

Аспе отметил, что такой подход понятен: пусть имеется пара близнецов и один из них поехал в Австралию, а другой в Америку. Если у одного из близнецов голубые глаза, то с большой вероятностью и другой близнец имеет такие же глаза, если у одного из них какая-то наследственная болезнь, то с большой вероятностью и другой близнец страдает той же наследственной болезнью.

Бор, однако, не согласился бы с этим. Квантовая механика – полная теория, и она не нуждается в каких-то параметрах, уточняющих эту теорию.

Бор оказался прав: теорема Белла показывает количественную несовместимость с точки зрения локального реализма (в духе Эйнштейна), которая предполагается неравенством Белла, и квантовых предсказаний для пар спутанных частиц (частиц со спутанными состояниями). Никакая теория, построенная на локальных скрытых переменных, не может воспроизвести квантовомеханические предсказания для ЭПР корреляции при всех возможных ориентациях поляризаторов.

Реакция физиков на теорему Белла и ее экспериментальное подтверждение оказалась различной, сказал Аспе в конце своего доклада. Некоторые физики продолжают придерживаться локального реализма в духе Эйнштейна, другие в духе Н. Бора отказываются от реализма и вводят в контекст физического явления понятие наблюдателя, третьи же сохраняют реализм и принимают концепцию квантовой нелокальности, следующую из понятия спутанного состояния. В нашей литературе вопросы, поставленные в докладе Аспе, освещались в статьях М. Менского [5; 6].

3. История интерпретаций квантовой механики

Один из организаторов парижской конференции бразильский физик и историк науки О. Фрайре в своем докладе проследил идейную историю, связанную с неравенством Белла и опытами Аспе. Он отметил, что в начале второй половины XX века проблематика оснований квантовой механики не пользовалась популярностью среди физиков. Так, например, в известном учебнике А. Мессиа (первое издание – 1958 г., русский перевод – 1996 г. [12]) проблематика локальных и нелокальных скрытых переменных, очерченная Д. Бомом, относилась скорее к философии, чем к физике. Ситуация изменилась к концу XX века благодаря появлению и обсуждению неравенства Белла и опытов (в частности, опытов Аспе) по его экспериментальной проверке.

Выше говорилось о Нобелевской премии, полученной Аспе и другими физиками за экспериментальную проверку неравенства Белла (2022 г.). О. Фрайре указал также на премию им. Вольфа, присужденную в 2010 году А. Аспе, Дж. Клаузеру, А. Цайлингеру и др. «за их фундаментальный концептуальный вклад в основания квантовой механики, в особенности за тонкую серию проверок неравенства Белла и экстраполяцию квантовой теории путем введения понятия спутанных состояний».

Историко-научные вопросы обсуждал также Т. Рикман (Стенфордский университет, США). В известном смысле его доклад был продолжением книг М. Джеммера по истории квантовой механики [11]. Рикман не принимает тезис, ставший популярным в философии диалектического материализма, тезис о взаимосвязи стандартной (копенгагенской) интерпретации квантовой механики и неопозитивизма. Неопозитивистская философия науки (представленная Венским кружком и обществом эмпирической философии в Берлине) сложилась к концу тридцатых годов под влиянием теории относительности Эйнштейна и трехтомной книги Рассела и Уайтхеда “Principia Mathematica”, вышедшей в 1910–1913 годах. Копенгагенская интерпретация была скорее попыткой распространить неопозитивизм на квантовую механику. Вместе с тем философия Н. Бора, его концепция дополнительности, как уже показал М. Джеммер, не отвечает стандартам неопозитивистской философии и имеет свои историко-философские основания.

Т. Рикман остановился на философских коннотациях вышеупомянутых работ Д. Бома, посвященных проблеме скрытых переменных. Первоначальной философской позицией Бома была копенгагенская интерпретация квантовой механики. С ортодоксальной копенгагенской позиции им была написана книга по основам квантовой механики, вышедшая в 1951 году (русский перевод этой книги вышел в 1961 году – второе издание было осуществлено в 1965 г.). Вскоре, однако, Бом пересмотрел свою позицию и опубликовал пионерские неортодоксальные работы, к которым восходят неравенство Белла и интерпретация квантовой механики, известная как интерпретация де Бройля–Бома.

Т. Рикман, прослеживая эволюцию воззрений Бома, указывает на два фактора – на подчеркнута плюралистическую философию науки П. Фейерабенда, с которым Бома связывали приятельские отношения. Как известно, Фейерабенд противопоставлял свое понимание науки тому, которое развивал Т. Кун, философия которого тяготела, по мнению Фейерабенда, к идеологии тоталитарного общества.

Бом также с симпатией воспринял те благожелательные оценки его неортодоксальной интерпретации, которые доходили до него из Советского Союза. Вместе с тем, как утверждает Рикман, он не вникал в философскую и идеологическую подоплеку этих оценок.

Историко-научный контекст оснований квантовой механики обсуждался также в докладе историка и философа науки Дж. Барретта (Ирвин, Калифорния, США), озаглавленного «Чистая волновая механика, относительные со-

стояния и множество миров». В докладе речь шла о многомировой интерпретации квантовой механики, выдвинутой американским физиком Х. Эвереттом. В нашей литературе по физике многомировая интерпретация обсуждалась в известной брошюре А.А. Маркова [4] (первое издание – 1991 г.). Дж. Барретт сосредоточился в своем докладе на аутентичных формулировках Эверетта, появившихся в его PhD диссертации, защищенной в 1957 г.

В начале диссертации Эверетт пишет о двух процессах, фиксируемых в квантовой механике: 1) если проведено измерение, то система S спонтанно и нелинейно переходит в собственное состояние измеряемой величины, 2) если измерение не происходит, то система эволюционирует линейно и причинно.

Нетрудно заметить, что Эверетт воспроизводит ту дихотомию квантовых процессов, которую описал фон Нейман, однако его терминология несколько отличается от фоннеймановской.

Далее Эверетт (мы следуем докладу Барретта) описывает двух «ортодоксальных наблюдателей», один из них в комнате, в которой производится измерение, а другой вне ее. Наблюдатель A находится в комнате и измеряет спин системы с полуцелым спином, находящейся в состоянии

$$\alpha|\uparrow x\rangle + \beta|\downarrow x\rangle. \quad (1)$$

Поскольку A – ортодоксальный наблюдатель, A предсказывает, что его измерение представляет собой процесс 1 и результатом его будет либо

$$|\text{"}\uparrow x\text{"}\rangle_A |\uparrow x\rangle_S, \quad (2)$$

причем A записал в свой блокнот стрелку вверх, либо

$$|\text{"}\downarrow x\text{"}\rangle_A |\downarrow x\rangle_S, \quad (3)$$

причем A записал в свой блокнот стрелку вниз.

Вероятности этих наблюдений будут соответственно $|\alpha|^2$ и $|\beta|^2$.

Наблюдатель B (тоже ортодоксальный), находящийся вне комнаты, фиксирует начальное состояние системы, состоящей из S и наблюдателя A , следующим образом:

$$|\text{"готово"}\rangle_A (\alpha|\uparrow x\rangle_S + \beta|\downarrow x\rangle_S). \quad (4)$$

Допуская, что A хороший наблюдатель и исходя из линейности процесса 2, наблюдатель B рассчитывает, что состояние A и системы S после наблюдения будет следующим (с точки зрения B взаимодействие между A и S есть физическое взаимодействие между двумя физическими системами):

$$\alpha|\text{"}\uparrow\text{"}\rangle_A |\uparrow x\rangle_S + \beta|\text{"}\downarrow\text{"}\rangle_A |\downarrow x\rangle_S. \quad (5)$$

Эверетт следующим образом комментирует эти формулы (здесь его комментарии воспроизводятся по тому изложению, которое мы находим в докладе Барретта): «Отмеченное результирующее взаимодействие A и S , показывающее, что возникающее состояние системы, которое может быть дано выражениями 2 или 3, трагически несовместимо с описанным наблюдателем B взаимодействием A и S , которое дается выражением 5. Наблюдатель B полагает, что расчет состояния системы, данный наблюдателем A , должен быть неправильным. С другой стороны, предполагая, что B прав в своих расчетах результирующего состояния, наблюдатель A просит наблюдателя B объяснить, каким образом один из них вообще получает определенный результат. «Теперь ясно, – пишет Эверетт, – что интерпретация квантовой механики, с которой мы начали, недопустима, если мы рассматриваем более чем одного наблюдателя».

Дж. Барретт останавливается также на других предпосылках многомировой интерпретации и разбирает ее версии. Для справки: основные статьи, посвященные многомировой интерпретации, находящиеся в интернете, написаны либо Барреттом индивидуально, либо им в соавторстве.

4. Байесинизм как интерпретация квантовой механики

В докладе Х. Цwirна (ЦНРС, Франция) речь шла о нестандартной интерпретации квантовой механики, названной квантовым байесинизмом (от формулы Байеса, одной из центральной в теории вероятности). Это субъективистская интерпретация квантовой механики (может быть для физиков старшего поколения, проходивших диамат, было бы более понятно, если здесь был бы применен термин «субъективно-идеалистическая интерпретация»). В центре этой интерпретации представление о состоянии квантовой системы как о состоянии наблюдателя, состояние того субъекта, который создает квантовомеханическую 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.

Байесинистская интерпретация квантовой механики была освещена в статье автора настоящего обзора [8]. При этом было отмечено, что данная интерпретация усиливает роль наблюдателя, которая уже была подчеркнута Н. Бором в его интерпретации квантовой механики, называемой копенгагенской или стандартной (поскольку она изложена в ряде основных учебников).

5. Статистические интерпретации квантовой механики и некоторые идеологические вопросы

Автор настоящего обзора опубликовал в книге Oxford handbook of the history of Quantum interpretations (2022) статью о статистических (ансамбле-

вых) интерпретациях квантовой механики. В статье была отмечена примечательная концептуальная близость статистических (ансамблевых) интерпретаций квантовой механики, возникших в довоенные годы в США (Слэтер, Кембл и др.) и в Советском Союзе (Л.И. Мандельштам, К.В. Никольский). Особо отмечена ансамблевая интерпретация квантовой механики, сформулированная в 1934 году венским преподавателем физики К. Поппером и стимулированная прежде всего философско-идеологическими проблемами. Как известно, К. Поппер в послевоенные годы добился широкой популярности, он заведовал кафедрой философии науки в Лондонской школе экономики и политических наук и получил титул лорда. М. Джеммер в упоминавшейся выше книге по истории интерпретаций квантовой механики назвал Поппера выдающимся мыслителем современности.

В послевоенные годы основными адептами ансамблевого подхода к квантовой механике стали советский физик Д.И. Блохинцев и канадский физик Л. Баллентайн. Позиция Блохинцева критиковалась другим советским физиком В.А. Фоком, который нашел в ней ряд логических неувязок. Блохинцев опубликовал ответ на критику со стороны Фока.

В докладе на конференции А.А. Печенкин говорил об идеологической ангажированности интерпретаций квантовой механики, появившихся в СССР в 1940–1950-х годах. При этом речь шла не только о подчеркнута антикопенгагенских атаках на квантовую механику в статьях и книгах советских физиков и философов, но и о лояльных к копенгагенской точке зрения позициях, к числу которых принадлежала позиция В.А. Фока, который встречался с Н. Бором и дебатировал с ним фундаментальные вопросы квантовой механики. В.А. Фок утверждал, что Н. Бор стоит на позиции стихийного материализма и что под влиянием их бесед он отказался от сомнительной с идеологической точки зрения акцентировки понятия «наблюдатель» при изложении своей интерпретации квантовой механики и не употреблял более концепцию «неконтролируемое взаимодействие», несущую отпечаток агностицизма [9; 10].

А.А. Печенкин указал на попытку аутентичного формулирования боровской концепции дополнительности в книге московского философа И.С. Алексеева [1] (см. также [3]) и в статьях киевских философов П. Дышлевого и В. Свириденко [7].

И.С. Алексеев показал также, что Н. Бор и после его дискуссий с В.А. Фоком продолжал ссылаться на «наблюдателя» при интерпретации квантовой и использовал понятие «неконтролируемое взаимодействие» [2].

Заключение

Конференция «Два дня об истории и эпистемологии квантовой механики» показала продуктивность специализированных философско-методологических конференций. Все участники конференции имели возможность представить свои позиции и услышать мнения коллег.

Некоторые из статей книги (Oxford Handbook, 2022), ставшей основой главных тем и сюжетов, обсуждавшихся на конференции, заслуживают перевода на русский язык.

Литература

1. *Алексеев И. С.* Понятие дополнительности: историко-методологический анализ. М.: Наука, 1978.
2. *Алексеев И. С.* О понятии неконтролируемого взаимодействия // Вопросы философии. 1984. № 6. С. 82–87.
3. *Алексеев И. С., Овчинников Н. Ф., Печенкин А. А.* Методология обоснования квантовой теории. М.: Наука, 1987.
4. *Марков М. А.* О трех интерпретациях квантовой механики. М., 1991.
5. *Менский М. Б.* Квантовое измерение, декогеренция и сознание // Успехи физических наук. 2001. Т. 171. С. 459–462.
6. *Менский М. Б.* Понятие сознания в контексте квантовой механики // Успехи физических наук. 2005. Т. 175. С. 459–467.
7. Методологические проблемы теории измерений / отв. ред. П. С. Дышлевы. Киев, 1966.
8. *Печенкин А. А.* Квантовый байесинизм. Обзор литературы // Эпистемология и философия науки. 2020. Т. 27, № 4. С. 199–216.
9. *Фок В. А.* Об интерпретации квантовой механики // Успехи физических наук. 1957. Т. 62, вып. 4. С. 461–474.
10. *Фок В. А.* Комментарии к статье Бора об его дискуссиях с Эйнштейном // Успехи физических наук. 1958. Т. 66. С. 599–602.
11. *Jammer M.* The philosophy of quantum mechanics. N.Y.: Wiley, 1984.
12. *Messiah A.* Quantum mechanics. Vol. 1, 2. N.Y.: Dover Publications, inc., 1995 (русский перевод издания 1959 г. под редакцией Фаддеева – 1978 г.)

CONFERENCE “TWO DAYS OF HISTORY AND EPISTEMOLOGY OF QUANTUM INTERPRETATIONS”

A.A. Pechenkin

*Faculty of Philosophy of Lomonosov Moscow State University
Educational and scientific building “Shuvalovsky”,
Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russian Federation
S.I. Vavilov Institute for the History of Science
and Technology of Russian Academy of Science
14 Baltiyskaya St, Moscow, 125315, Russian Federation*

Abstract. On April 17–18, 2023, an international conference dedicated to the problems of history and philosophy of quantum physics was held in Paris, bringing together physicists, philosophers and historians of science from Europe, America and Australia. The conference discussed both the issues put on the agenda by quantum technologies and traditional philosophical issues of quantum mechanics. The conference was associated with the presentation of the book “The Oxford Handbook of Quantum Interpretations” (2022) and most of the speakers were authors of this collective work.

Keywords: history, epistemology, theory, empirics, measurement, context, entangled states, quantum teleportation