

**О РОЛИ В. ГЕЙЗЕНБЕРГА, Э. ШРЕДИНГЕРА,
К.Ф. ВАЙЦЕККЕРА, Н. БОРА И М. ХАЙДЕГГЕРА
В РАЗРАБОТКЕ ЛОГИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ ОСНОВАНИЙ
КВАНТОВОЙ ФИЗИКИ**

Л.Г. Антипенко*

*Институт философии РАН
Российская Федерация, 109240, г. Москва, ул. Гончарная, д. 12, стр. 1*

Аннотация. Разработка логико-математических оснований квантовой физики, и в первую очередь квантовой механики, является делом большого коллектива физиков, математиков и философов, внёсших свой вклад в решение данной задачи. В заголовке статьи указаны имена четырёх учёных, которые, по мнению автора, подготовили почву для создания квантовой логики. Это надо понимать так, что с самого начала (Гейзенберг и Шредингер) было установлено, что свойства квантовых объектов описываются не числами, а операторами. Во взаимоотношениях самих операторов можно было усмотреть аналог булевой алгебры классической логики. Вайцеккер поставил вопрос о том, как можно при описании состояний движения квантовых объектов представить физическую величину времени: оператор или вектор состояния?

Автор статьи показывает, что развитие квантовой механики прошло два этапа. Первый этап отличается тем, что в физику были введены комплексные числа и функции, иначе говоря, элементы теории функций комплексного переменного. На втором этапе в квантовую физику проникло спинорное исчисление. Если на первом этапе были представлены способы описания *внешних* степеней свободы (движения) элементарных частиц и других квантовых объектов, то второй этап ознаменован описанием *внутренних* степеней движения элементарных частиц. Появилась возможность понять, что измеряемая масса электрона или любого другого фермиона является величиной усреднённой, состоит из двух ингредиентов: массы положительной и массы отрицательной (два значения соответствующего оператора). В этом открытии большую роль сыграла операция диалектического отрицания (приваация), заимствованная из фундаментальной онтологии Хайдеггера.

Ключевые слова: математические основания квантовой механики, квантовая логика, приваация, время, два этапа развития квантовой теории

Среди огромного числа работ, посвящённых анализу квантовой физики, истории её возникновения и практической значимости, пожалуй, не найдётся ни одной работы, специально уделившей внимание логико-математическим основаниям этой теории. Конечно, нельзя не видеть того, что существует множество попыток создать так называемую *квантовую логику*. Однако в

* E-mail: chistrod@yandex.ru

большинстве своём они несостоятельны, и главный их недостаток заключается в том, что они, как правило, оторваны от математики, а ведь теоретическая физика есть физико-математическая теория. В этом плане предпосылки для создания новой востребованной логики мы находим, прежде всего, в работах Вернера Гейзенберга (1901–1976), Э. Шредингера (1887–1961), Карла Фридриха фон Вайцзеккера (1912–2007), Нильса Бора (1885–1962) и Мартина Хайдеггера (1889–1976).

Обычно указывают, что представление квантовой механики, разработанное Гейзенбергом (матричная механика), эквивалентно представлению Шредингера (волновая механика). Доказательство эквивалентности принадлежит И. фон Нейману [1]. Однако, когда мы говорим здесь об эквивалентности, то следовало бы одновременно с этим формулировать её критерий. Когда речь заходит об описании стационарных квантовых состояний системы (к примеру, электрона), то параметры одного варианта описания, как показал фон Нейман, математически однозначно переводятся в параметры другого варианта описания. А когда речь идёт об описании изменения квантового состояния во времени, то здесь имеется различие. Различие касается фактора времени, хотя оно мало заметно в рамках нерелятивистской квантовой механики. В релятивистской же квантовой механике структура времени подлежит изменению, и это приводит, как будет показано ниже, к нетривиальным выводам, касающимся перспективы развития квантовой теории и логики самого этого развития.

Итак, в представлении Шредингера с течением времени изменяется вектор состояния (волновая функция), а операторы, действующие на вектор состояния, остаются неизменными. В представлении Гейзенберга, напротив, вектор состояния остаётся неизменным, а изменяются операторы. Если спектр собственных значений оператора, читаем мы в учебнике А.С. Давыдова «Квантовая механика» [2], не меняется с течением времени, то можно пользоваться операторами, математическая форма которых не зависит от времени. «В этом случае изменение состояния с течением времени определяется изменением (поворотом) вектора состояния. Такое представление операторов и векторов состояний носит название *представления Шредингера*. В представлении Шредингера изменение волновой функции определяется уравнением Шредингера» [2. С. 122]. Различие между двумя представлениями состоит, помимо прочего, ещё и в том, что в представлении Гейзенберга изменению оператора \hat{A} во времени соответствует изменение среднего значения соответствующей ему физической величины.

Перейдём теперь к более детальному рассмотрению высказанных выше положений.

В квантовой механике, как и в классической, пишет Н.Н. Боголюбов, эволюция состояний динамической системы совершается закономерно, и задание определённого состояния для начального момента времени t_0 полностью определяет состояние этой системы для всех других моментов времени t . Существенное же отличие классической механики от квантовой заключается

в построении понятия состояний динамической системы. Так, в классической механике состояние какой-нибудь динамической системы с n степенями свободы определяется одновременным заданием её n координат и n импульсов $q_1, \dots, q_n; p_1, \dots, p_n$. Основным средством описания служит гамильтониан системы $H = H(q_1, \dots, q_n, p_1, \dots, p_n)$. В случае отсутствия внешних воздействий H не зависит явно от t .

В квантовой механике состояние динамической системы определяется соответствующей волновой функцией ψ , а его эволюция характеризуется волновым уравнением

$$i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t} = H\psi, \quad (1)$$

в котором гамильтониан H является самосопряжённым оператором, действующим на функцию ψ [3. С. 11].

Различие между квантово-механическим и классическим определениями состояния динамических систем отчётливо проявляется, по словам Боголюбова, при исследовании функционирования динамических переменных (энергии, координат точек, импульсов, моментов количества движения и т. д.) в одном и другом случае. В классической механике динамические переменные являются функциями координат и импульсов системы и тем самым функциями состояния динамической системы. Следовательно, задание состояния полностью определяет динамические переменные. В квантовой же механике динамические переменные не являются функциями состояния, характеризуемого волновой функцией ψ , а представляются самосопряжёнными операторами, действующими в пространстве возможных ψ . «Даже точное задание состояния рассматриваемой динамической системы, то есть точное задание соответствующей волновой функции ψ , не определяет, вообще говоря, значение, получающееся при измерении данной динамической переменной. Только когда ψ является собственной функцией оператора A , представляющего исследуемую динамическую величину, то есть когда

$$A\psi = a\psi, \quad (2)$$

где a – обычное число, можно утверждать, что, измерив величину A для нашей динамической системы, находящейся в состоянии ψ , мы получим определённое значение a » [3. С. 12–13].

Гейзенберг приступил к описанию квантового состояния движения, отправившись от планетарной модели атома водорода, изобретённой Н. Бором. Но было ясно, что электрон, находясь под воздействием электрической силы притяжения к ядру атома, не может двигаться вокруг ядра так, как, скажем, планета Земля вокруг Солнца, где действуют две силы – сила гравитационного притяжения и сила инерции, не позволяющая упасть Земле на Солнце. Модель атома Бора была противоречивой, и главное противоречие заключалось в различии между понятием классического движения и понятием

квантового движения. Как же конкретно поступил Гейзенберг, чтобы избавиться от этого противоречия?¹

Гейзенберг каждой прежней характеристике движения электрона – координате x , импульсу p , энергии E – поставил в соответствие многомерные матрицы $\{X_{nk}\}$, $\{P_{nk}\}$, $\{E_{nk}\}$ и уже для них стал записывать уравнения движения, известные из классической механики. Действия над этими матрицами не должны были нарушать математических правил. Известно, что, вообще говоря, результат перемножения двух матриц зависит от порядка сомножителей. Гейзенберг подобрал такие матрицы $\{X_{nk}\}$ и $\{P_{nk}\}$, для которых разность их произведений оказалась равной единичной матрице, умноженной на число $i\hbar$:

$$\{X_{nk}\} \cdot \{P_{nk}\} - \{P_{nk}\} \cdot \{X_{nk}\} = i\hbar I, \quad (3)$$

где $i = \sqrt{-1}$, $\hbar = \frac{h}{2\pi}$ (h – постоянная Планка), I – единичная матрица. (Обычно это равенство принято записывать в виде $Q \cdot P - P \cdot Q = i\hbar I$.) Тем самым автор превратил эти матрицы в операторы с последующим, построенным из них, уравнением движения.

Как сообщается в статье Стайера (см. [4]), матричная формулировка квантовой механики, развитая Гейзенбергом в июне 1925 г., была первой из открытых впоследствии формулировок [5]. (Формулировка на основе волновой функции, которая сегодня имеет наибольшее хождение, была установлена Эрвином Шредингером примерно шестью месяцами позже). По словам Стайера, в матричной формулировке каждая механическая наблюдаемая (такая, как положение, импульс или энергия) математически представляется матрицей, отождествляемой с оператором. Для системы с N базисными состояниями (где в большинстве случаев $N = \infty$) оператором служит $N \times N$ квадратная эрмитова матрица, а некоторое квантовое состояние $|\psi\rangle$ математически представляется $N \times 1$ матричным столбцом. (В теории матриц одностолбцовые матрицы тоже, как и квантовое состояние $|\psi\rangle$, называются векторами.)

Связь с экспериментом в матричной механике, по Стайеру, описывается следующим образом. Предположим, что измеряемая величина A представлена оператором \hat{A} . Тогда для любой функции $f(x)$ математическое ожидание для измерения $f(A)$ в состоянии $|\psi\rangle$ есть внутреннее произведение $\langle \psi | f(\hat{A}) | \psi \rangle$. Далее, если обозначить оператор, соответствующий наблюдаемой величине механической энергии, через \hat{H} , то закон эволюции во времени какого-либо оператора $\hat{A}(t)$ будет выражен в виде уравнения

¹ Достаточно подробная история решения этой задачи изложена в статье Д. Стайера «Девять формулировок квантовой механики» (пер. на русский язык М.Х. Шульмана) [4], из которой мы заимствуем некоторую нотацию и ссылки на литературные источники.

$$\frac{d\hat{A}(t)}{dt} = \frac{\partial \hat{A}}{\partial t} - \frac{i}{\hbar} [\hat{A}(t), \hat{H}],$$

где второе слагаемое в правой части уравнения – квантовые скобки Пуассона.

Какие же существенные, в математическом плане, суждения мы можем сделать, изучая гейзенберговский опыт создания матричной квантовой механики? Обращаем внимание на то обстоятельство, что физика имеет дело с размерными величинами и их единицами. Их взаимоотношения позволяют вывести множество формул, содержащих физические истины. Руководством служит теория, известная под названием *анализ размерностей* (dimensional analysis) [6]. Кроме того, все физические величины выражаются вещественными (действительными) числами. А в квантовой механике, в первую очередь в матричной механике Гейзенберга, мы находим сочетание вещественных и комплексных чисел. Математическая техника этого синтеза реализуется за счёт введения операторов, соответствующих той или иной физической величине, и комплексных амплитуд вероятности, позволяющих вычислять вероятности регистрации в эксперименте того или иного значения физической величины.

Классическая статистическая физика тоже имеет дело с вероятностями. Но *математическое ожидание* привносится в неё *извне* [7]. В квантовой механике вероятности появляются *изнутри*, исходя из свойств движений микрообъектов. Квантовая механика превращается, таким образом, в модель математических закономерностей, открывающих возможность синтезировать математическую теорию вероятностей (см. [8]) и всю ту часть математики, в основание которой положена математическая теория множеств. Логические закономерности здесь выявляются тогда, когда рассматриваются взаимоотношения между целыми положительными числами с их свойствами.

Н. Бор провозгласил, что логика квантовой механики определяется идеей (принципом) дополнительности: *contraria sunt complementa* (противоположности дополняют друг друга). В первую очередь это единство противоположностей относится к матричному представлению квантовой механики Гейзенберга, с одной стороны, и волновому представлению Шредингера – с другой. Мир квантовой механики Гейзенберга заполняется частицами (точками), движение которых управляется вероятностными закономерностями (так выглядит картина этого мира при интерпретации квантовой механики, предложенной М. Борном и принятой Гейзенбергом). Мир квантовой механики Шредингера есть мир волновой «субстанции», эволюция которой описывается уравнением, носящим его имя. Но когда мы находим в физических явлениях раздвоение единства на противоположные (дополнительные) части, нам стоит помнить одну знаменательную реплику В. Паули – о [неизбежном] уменьшении симметрии между такими частями [9. С. 347]. Потенциал развития квантовой теории по Шредингеру, как будет далее видно, превышает потенциал развития по Гейзенбергу.

Гейзенберг достиг вершины при разработке своей концепции квантовой теории в книге «Введение в единую полевую теорию элементарных частиц»

[10]. В ней мы находим очень сложное, *нелинейное* уравнение, решение которого и должно было бы привести к спектру известных элементарных частиц и предсказать существование неизвестных. Представлено оно было ещё в 1958 г., при жизни Н. Бора, который, глядя на него, как гласит легенда, сказал: «Перед нами безумная теория. Вопрос в том, достаточно ли она безумна, чтобы быть правильной». Гейзенберг ввёл понятие калибровочной симметрии на примере симметрии между протоном и нейтроном. Это понятие затем было обобщено на все адроны с приписыванием им различных значений изоспина. Но, насколько нам известно, калибровочную симметрию Гейзенберг рассматривал только как метод классификации элементарных частиц, оставляя в стороне её динамическое значение, связанное с изменением квантового состояния системы во времени.

Судя по тексту письма, которое направил Гейзенберг Хайдеггеру в день его восьмидесятилетия, они были идейно связаны общим интересом к проблеме научно-технического прогресса, в котором виднейшее место стала занимать в двадцатом столетии именно квантовая физика. Со стороны квантовой механики особенно привлекал их вопрос о детерминизме, причинности и времени. В первой главе упомянутой выше книги Гейзенберг изложил ряд исходных положений, в которых предопределяются задачи его исследования. Речь идёт, с одной стороны, о спектре масс элементарных частиц, а с другой стороны, о теоретическом представлении и экспериментальной проверке процессов рассеяния и порождения новых частиц при их столкновениях, когда приходится иметь дело с законами сохранения, с понятием детерминизма и принципом причинности. «Гермин “причинность”, – указывал автор, – употребляется здесь в смысле специальной теории относительности: от точки к точке взаимодействие распространяется вдоль светового конуса (ближкодействие), так что хронологическая последовательность причины и следствия всегда строго определена. Хорошо известно, что в таком виде локальная причинность не противоречит статистическому характеру квантовой механики, и поэтому было бы очень важно знать, насколько следуют этой схеме реальные события природы» [10. С. 23].

Поскольку взгляды Гейзенберга на значение принципа причинности в квантовой механике менялись на протяжении его творческой работы, Хайдеггер вступил с ним в полемику по вопросу о том, совместим ли принцип причинности с известными соотношениями неопределённости, установленными самим же Гейзенбергом. Он, Гейзенберг, писал Хайдеггеру, сформулировал в 1927 г. (*Zeitschrift für Physik*. 1927. № 3. S. 197) принцип причинности так: «Если мы точно знаем настоящее, то мы можем узнать будущее». Теперь Гейзенберг говорит, что «ложно не придаточное предложение, а предпосылка. Мы принципиально *не можем* узнать настоящее во всех определяющих его деталях». Это незнание, поясняет Хайдеггер мысль Гейзенберга, заложено в принципе неопределённости квантовой механики, который гласит: мы всегда можем точно измерить либо местоположение, либо импульс частицы, но не оба одновременно. Автор сделал из этого факта вывод, что таким образом «окончательно констатируется недействительность закона каузальности». На

этот тезис, добавляет Хайдеггер, ещё и сегодня опираются разговоры об «акаузальности». «Однако, – возражает он тут же, – принцип неопределённости не отменяет ни закона каузальности, ни возможности заранее просчитывать. Иначе было бы невозможным конструирование и создание атомной бомбы, да и атомной техники вообще» [11. С. 201].

Постановка вопроса о каузальности и его решение определяется, по Хайдеггеру, решением более глубокой проблемы – проблемы времени. В этом плане, когда мы констатируем, что время есть размерная физическая величина, мы вправе спросить, почему в квантовой механике нет оператора времени. Чем это можно объяснить? Быть может, тем, что время нельзя приурочить к оператору и следует отвести ему место вектора состояния? В таком случае можно было бы предвидеть, что этот вектор должен состоять из двух ортов, отличающихся друг от друга тем, что один содержит мнимую единицу со знаком плюс, другой – со знаком минус, если исходить из того, что берутся средние (усреднённые) параметры времени.

В квантовой механике есть изобретённый Е. Вигнером антиунитарный оператор обращения времени [12. С. 386–414]. Его воздействие на волновую функцию переводит её в комплексно-сопряжённую функцию. Но этот оператор нельзя отождествлять с оператором времени в том смысле, который имеют все прочие квантово-механические операторы. Кроме того, если мы ассоциируем физическую величину времени с вектором состояния, то он должен быть соотнесён с некоторым свойством квантового объекта. При полном решении квантово-релятивистского уравнения Дирака, описывающего свободное движение электрона, выясняется, что таким свойством является масса частицы [13].

Гейзенберг, рассматривая время, не вышел за пределы представления времени в виде координаты. А вот квантовый опыт Вайцзеккера привёл его к иному пониманию времени, радикально отличающемуся от гейзенберговского. В мировоззренческом плане Вайцзеккера, как и Гейзенберга, интересовала философия Платона. Однако Вайцзеккер отдавал предпочтение философии Канта. В статье «Физика и философия» (см. [14]) Вайцзеккер утверждает, что кантовская идея априоризма не утратила своего значения до сих пор. В общем состоит она в том, что законы, находимые нами в опыте, обусловлены определёнными предварительными условиями. И если хотят понять, почему вообще должны существовать законы, следует, прежде всего, осознать, что опыт сам по себе – это отнюдь не тривиальная вещь, что необходимо выполнить ряд условий, для того чтобы опыт был возможен. А если речь идёт о научном опыте, то можно достаточно уверенно предполагать, что время является элементом каждой теории, «ибо если бы не было времени, не было бы теории». Вайцзеккер ставит задачу попытаться выделить небольшую совокупность законов, которые уже открыты или будут открыты, как априорные условия, без которых опыт невозможен. Среди этих условий – время на первом месте. Если же ссылаются на Платона, то на это Вайцзеккер возражает так: Платон не создал теорию различия между тем, что можно назвать фактом и что – возможностью или, говоря на общепринятом языке, между прошлым

и будущим. «Наши теории не только о времени, они теории во времени», чего «не может быть у Платона. Их нет даже у Канта» [14. С. 125].

Переводя эти суждения Вайцзеккера на язык логики, на язык взаимоотношений между натуральными или целыми положительными числами, мы увидим, что в них открывается связь между двумя противоположными понятиями счётной и несчётной бесконечности. Натуральный ряд чисел отражает в себе детерминированную последовательность событий. Математики оценивают его ординальным числом ω , большинство из них согласно с тем, что такое число существует. На вопрос же о том, как появляется несчётная бесконечность, ответ Вайцзеккера, как мы понимаем, сводится к следующему рассуждению. Если мы отступаем в прошлое, мы можем математически представить такое движение в виде упорядоченного (детерминированного) ряда натуральных чисел. Если же мы поворачиваемся к будущему, то в этой перспективе однозначного порядка не найдём. Встреча с числами будет сопровождаться вероятностями их появления. Модель такого поведения чисел мы теперь находим в квантово-компьютерных вычислениях.

Текст статьи «Physics and Philosophy» – это запись выступления Вайцзеккера на международном симпозиуме «Развитие концепции природы в представлении физиков» («The Physicist's Conception of Nature»), состоявшемся в 1972 г. [15]. Но там он сделал ещё одно сообщение под названием «Классическое и квантовое описание», в котором уточнил некоторые понятия и суждения, содержащиеся в первом докладе. Он сказал, что математическая структура квантовой механики сомнению не подлежит, но она содержит семантические противоречия. Понятно, что Вайцзеккер имел в виду, в первую очередь, расхождения между интерпретацией квантовой механики, предложенной Максом Борном и принятой Гейзенбергом, и интерпретацией, отстаиваемой Шредингером. Для устранения противоречий между ними необходимо, по Вайцзеккеру, разработать квантовую логику. Только речь не идёт о специфически «эмпирической» логике. Специфический характер общей новой логики заключается в том, что она базируется на темпоральных утверждениях, то есть на утверждениях о фактах и вероятностях. Если утверждения о вероятностях воплощаются в операторах и векторах квантовых состояний, то утверждения о фактах суть «классические описания» [15. С. 635]. Но «классические описания» не исключают гипотезы, согласно которой время на уровне квантовых явлений может сочетать в себе прямой и обратный ход.

Квантовый опыт Вайцзеккера менее изучен, нежели опыт других теоретиков квантовой физики. Но один важный момент из него следует здесь прямо упомянуть, чтобы было видно, как автор пришёл к тем логическим и философским выводам, которые были изложены выше. Вайцзеккер создал капельную модель атомного ядра. Для её создания достаточно было использовать вещественные числа, опираясь на законы анализа размерностей. Но он увидел, что более совершенная, квантовая, теория ядра не может обходиться без комплексных чисел, как не может обходиться без них и любая другая квантовая теория. А вот обращение к задаче формирования логики времени,

вероятно, произошло у него под влиянием фундаментальной онтологии Хайдеггера.

Известно, что Н. Бор, сформулировав принцип комплементарности по отношению к квантовым явлениям, показал затем, что этот принцип имеет более общее, логическое значение (находит применение в разных областях действительности). Поэтому если комплементарность совпадает с тем, что называют диалектическим единством противоположностей, то здесь должен быть установлен способ перехода от одной противоположности к другой, способ диалектического отрицания. И мы находим (мета)логическую операцию диалектического отрицания – *привацию* – в фундаментальной онтологии Хайдеггера. По слову Хайдеггера: «Если мы нечто отрицаем так, что не просто исключаем, а, скорее, фиксируем в смысле недостачи, то такое отрицание называют *привацией (Privation)*» [11. С. 86]. Суть привации заключается в том, что она позволяет осмыслить неполноту всякой теоретически установленной меры каких-либо вещей или явлений, вплоть до Бытия в целом, результатом отрицания которого служит Ничто.

В данном случае привация открывает нам возможность найти правильное (полное) решение квантово-релятивистского уравнения Дирака, описывающего свободное движение электрона. Ход рассуждений, позволивший найти путь к этому решению, можно кратко выразить так. Мы направляем внимание на открытую Ньютоном меру инерциального движения и подвергаем её диалектическому отрицанию с тем, чтобы выявить её неполноту. Для того чтобы выразить меру инерциального движения в квантовой механике, достаточно рассмотреть квантовое состояние движения элементарной частицы (электрона), когда её импульс в процессе движения остаётся *неизменным*. Этому движению должно было бы соответствовать *равномерно текущее* время. Однако полное решение уравнения Дирака приводит к неожиданным результатам. Во-первых, требуется объяснить тот факт, что наблюдаемая скорость движения электрона v меньше скорости распространения света в вакууме c , получаемой при решении. Во-вторых, решение представляется в виде двух спиноров, двух (свёрнутых) уравнений [16. С. 526]. В одном из них в сумме операторов, действующих на волновую функцию ψ , стоят операторы $i \frac{\partial}{dt}$ и

mc , в другом – операторы $-i \frac{\partial}{dt}$ и $-mc$ (волновая функция при этом преобразуется в комплексно сопряжённую функцию ψ^*) [13]. Естественно, требуется как-то согласовать между собой эти факты.

Дирак полагал, что скорость движения электрона осциллирует вокруг величины световой скорости c , в результате чего мы и получаем среднearифметическую скорость $v < c$ [16. С. 361–362]. Однако квантовая механика имеет дело только со средневероятностными величинами. Поэтому единственный, логически оправданный, способ объяснения этого результата заключается в том, что осциллирует не скорость движения электрона, а осциллирует время. Фазовые сдвиги времени в одну и другую сторону можно назвать квантами времени, потому что переход от одной фазы к другой происходит мгновенно.

Трансформация времени не может происходить во времени. Однако важно иметь в виду, что этим временным фазовым сдвигам в точности соответствует взаимообмен противоположными значениями массы в электроне. Электрон, как и всякий другой фермион, представляет собой композитную частицу.

При любом конечном отрезке времени, поддающемся обычному измерению, время представляется как однородная величина, отсчитываемая от прошлого к будущему. Однако, когда кто-то говорит, что ему не хватило или не хватает времени, чтобы выполнить какую-то нужную работу, он необязательно имеет в виду просто истёкший по часам отрезок времени. По мысли Хайдеггера, фраза «ему не хватило времени» может означать, что он недостаточно приобщился к времени, ход которого направлен в сторону, противоположную термодинамической стреле, связанной с ростом энтропии. Привация времени позволяет выявить участие времени в антиэнтропийных, созидательных процессах. Будет ли такая временная тенденция усиливаться по мере развития вселенной или, наоборот, уменьшаться, в принципе установить можно, если учесть опыт изучения эффекта красного смещения в спектре света, идущего к нам от источников, расположенных в далёких галактиках (см. квантовую интерпретацию астрофизического закона Хаббла [18]). На этом пути важна информация о том, каковыми были величины масс элементарных частиц и атомов на более ранней стадии развития вселенной с учётом того, что имеется связь фазового ритма времени с ритмом преобразования массы композитной элементарной частицы. Отсюда же видится подход к ответу на вопрос, что преобладало на ранних этапах развития вселенной – тёмная или светящаяся материя и энергия.

Анализ полного решения квантово-релятивистского уравнения Дирака позволяет, наконец-то, разобраться с ролью наблюдателя при квантово-механических измерениях, при которых имеет место редукция волновой функции. Напомним о подходе к решению этой задачи, предложенном И. [Дж.] фон Нейманом [19]. Фон Нейман констатирует, что процессы, которые в первую очередь интересуют квантовую механику, подразделяются на две категории. Обозначает он эти процессы символами $U - U'$. Первый – процесс измерения, соотносимый с редукцией волновой функции, – является необратимым и выпадает за рамки принципа причинности, второй, описываемый уравнением Шредингера, подчиняется принципу причинности, непрерывен, (термодинамически) обратим [19. С. 307]. Но фон Нейман не ограничивается этими суждениями, он пытается вникнуть в более глубокую характеристику того, что происходит при редукции волновой функции (здесь мы делаем ссылки на работу фон Неймана [19] и, кроме того, на оригинал (Die Grundlehren...) [20. S. 222–223]).

Указывая на фундаментальное различие между процессами U и U' , фон Нейман сравнивает их затем с теми, которые, по его словам, действительно осуществляются в природе или при её наблюдении, и пишет: «Во-первых, само по себе безусловно верно, что измерение или связанный с ним процесс субъективного восприятия является по отношению к внешнему физическому миру новой, не относящейся к нему сущностью. Действительно, такой процесс выводит нас из физического мира или, правильнее, вводит в

неконтролируемую, так как в каждом контрольном опыте уже предполагаемую, мысленную внутреннюю жизнь индивида <...>. Однако имеется, несмотря на это, фундаментальное для всего естественнонаучного мировоззрения требование, так называемый принцип психофизического параллелизма, согласно которому должно быть возможно так описать в действительности процесс субъективного восприятия, как если бы он имел место в объективном, внешнем мире, – это значит сопоставить его этапам физические процессы в объективном внешнем мире, в обычном пространстве <...>» [19. С. 307]. (Предлагаемое нами уточнение данного перевода состоит в замене двух терминов «сопоставить» и «этапам» терминами *подчинить* (нем. zuordnen) и *частям* (нем. Teilen)).

О каких же частях измерения в данном случае идёт речь? Присмотревшись внимательнее к высказываниям автора, мы поймём, что имеются в виду два события, которые происходят одновременно: одно в обычном пространстве (в объективном внешнем мире), другое – в церебральной системе субъекта-наблюдателя. Кроме того, принцип психофизического параллелизма, по словам фон Неймана, утверждает, что между наблюдаемой системой и наблюдателем существует граница, или грань, которую можно произвольно сдвигать вверх, в сторону наблюдателя, но нельзя устранить, не нарушив процедуры измерения [19. С. 307–308]. Речь, таким образом, идёт о двух *сцепленных* (перепутанных) событиях, которые происходят одновременно.

Примерно те же соображения относительно существа квантово-механического измерения мы находим и в рассуждениях Вольфганга Паули. Он отмечает, что в случае корреляции двух сцепленных систем 1 и 2, одна из них может выполнять при измерении роль субъекта в том смысле, что её можно использовать как источник информации о другой [21. С. 52–53]. Ссылаясь далее на ранние исследования фон Неймана и Гейзенберга, Паули полагает, что квантовая механика внутренне непротиворечива при условии наличия этого самого «разделения («сечения») между наблюдаемой системой и средствами наблюдения» (выбор места этого сечения, по его словам, является до известной степени произвольным) [21. С. 53].

Ясно, что как второй, так и первый процесс (редукция волновой функции), не выпадает из времени. Но тогда возникает вопрос о том, какое значение здесь имеет неустранимая грань между квантовой системой (электроном) и средствами наблюдения, на место которых можно поставить наблюдателя. В любом случае сцепленные коррелированные события совпадают во времени по фазе. Здесь время раскрывает свою фазовую, информационную ипостась. Но чтобы извлечь информацию, представленную в измерении, наблюдатель должен апеллировать ко второй, вещественной (энтропийной) ипостаси времени. В этой связи измерительная система может выполнить свою роль в качестве средства измерения только при условии, что она удовлетворяет критерию конденсатной системы² [22]. Так что различие между

² Конденсатные системы характеризуются наличием в них конденсированной материи. Под физикой конденсированной материи обычно понимают отдельную ветвь физической науки, в которой изучается поведение сложных систем – систем с большим числом степеней свободы и наличием сильной связи. Часто к числу таких систем относят твёрдое и жидкое

индивидуальным электроном и конденсатной системой, в которой он выявляется, и есть та грань, которая разделяет элементарную частицу и средства её наблюдения.

В заключение вернемся к вопросу, с разбора которого начата статья: матрицы Гейзенберга, коммутативные отношения, комплексные числа. Можно ли было бы построить математический аппарат квантовой механики без комплексных и мнимых чисел? Ещё в 1932 г. П. Эренфест показал, что если описание электромагнитного поля может обойтись без комплексных чисел, то этого нельзя сделать при описании электронно-позитронного поля, при описании квантовых состояний фермионов. Одним словом – нельзя обойтись без комплексных волновых функций. «Все виртуозные рассуждения, – писал Эренфест, – относительно какой-то особой аналогии между уравнениями Максвелла и Дирака, если я правильно себе представляю, абсолютно ни к чему не приводят» [22. С. 174]. Поэтому требуется, по его мнению, вводить в квантовую теорию спинорное исчисление. На этом основании Ю. С. Владимировым была создана предгеометрия (бинарная система комплексных отношений) [23. С. 95–122]. Речь в ней идёт об отношениях между точками и точечными событиями. Развитие этой оригинальной теории продолжается, но, как мне представляется, автору предстоит преодолеть затруднения, касающиеся понятия конденсатной материи.

Литература

1. *Neumann J. Von.* Warscheinlichkeitstheoretischer Aufbau der Quantenmechanik [Probability theoretical arrangement of quantum mechanics]. Nachr. Ges. Wiss. Goettingen, 1927. S. 245–272.
2. *Давыдов А.С.* Квантовая механика. М.: Госиздат физико-математической литературы, 1963. 748 с.
3. *Боголюбов Н. Н.* Собрание научных трудов в двенадцати томах. Т. VI: Равновесная статистическая механика. 1945–1986. М.: Наука, 2006. 519 с.
4. *Styer Daniel F.* Nine formulations of quantum mechanics. Am. J. Phys. 70(3), March 2002.
5. *Heisenberg W.* Über die quantentheoretische Umdeutung kinematischer und mechanischer Beziehungen [Quantum-theoretical reinterpretation of kinematic and mechanical relations] // Z. Phys. 1925. 33. S. 879–893.
6. *Хантли Г.* Анализ размерностей / пер. с англ. А.Ф. Ульянова. М.: Мир, 1970. 174 с.
7. *Терлецкий Я.П.* Статистическая физика. М.: Высшая школа, 1994. 350 с.
8. О теории вероятностей и математической статистике (переписка А.А. Маркова и А.А. Чупрова). М.: Наука, 1977. 199 с.
9. *Гейзенберг В.* Физика и философия. Часть и целое / пер. с нем. М.: Наука, 1990. 400 с.
10. *Гейзенберг В.* Введение в единую полевую теорию элементарных частиц / пер. с англ. А.И. Наумова; под ред. Д. Иваненко. М.: Мир, 1968.
11. *Хайдеггер М.* Цолликоновские семинары. М.: Европейский гуманитарный университет, 2012. 406 с.
12. *Вигнер Е.* Теория групп и её приложение к квантово-механической теории атомных спектров. М.: ИЛ, 1961. 444 с.

состояния вещества, исключая газообразное. В данном же случае имеются в виду квантовые аспекты конденсированной материи.

13. *Антипенко Л.Г.* К вопросу о двуспинорной интерпретации решения квантово-релятивистского уравнения Дирака, описывающего свободное движение электрона. *Успехи физических наук: трибуна (trib6p)*. 2018.
14. *Вайцзеккер К.Ф.* Физика и философия // *Вопросы философии*. 1993. № 1. С. 115–125.
15. *The Physicist's Conception of Nature* / Ed. J. Mehra. Dordrecht – Boston, 1973.
16. *Пенроуз Роджер*. Путь к реальности или законы, управляющие Вселенной. М.: Ижевск, 2007.
17. *Дирак П.А.М.* Принципы квантовой механики. М.: Госиздат – физматгиз, 1960.
18. *Антипенко Л.Г.* О квантовом законе Хаббла и физико-математических основаниях альтернативной космологии *Прикладная физика и математика*. М.: Научтехиздат, 2019. № 12. С. 10–17.
19. *Нейман И. фон*. Математические основы квантовой механики / пер. с нем. М.К. Поливанова и Б.М. Степанова; под ред. акад. Н.Н. Боголюбова. М.: Наука, 1964.
20. *Die Grundlehren der math. Wiss. Band XXXVIII math. Grundlagen der Quantenmechanik v. Johann Neumann. Berlin, Verlag von Julius Springer, 1932.*
21. *Паули В.* Физические очерки: сборник статей / отв. ред. и сост. Я.А. Смородинский. М.: Наука, 1975. 256 с.
22. *Эренфест П.* Относительность. Кванты. Статистика. М.: Наука, 1972. 359 с.
23. *Владимиров Ю.С.* Физика дальнего действия (Природа пространства–времени). М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2012. 224 с.

ON THE ROLE OF V. HEISENBERG, E. SCHRÖDINGER, K.F. WEIZSACKER, N. BOHR AND M. HEIDEGGER IN THE DEVELOPMENT OF THE LOGICAL AND MATHEMATICAL FOUNDATIONS OF QUANTUM PHYSICS

Leonid Antipenko*

*RAS Institute of Philosophy
12/1 Goncharnaya St, Moscow, 109240, Russian Federation*

Abstract. The development of the logical and mathematical foundations of quantum physics and, first of all, quantum mechanics is the work of a large team of physicists, mathematicians and philosophers who have contributed to the solution of this problem. The title of the article lists the names of four scientists who, according to the author, paved the way for the creation of quantum logic. This must be understood in such a way that from the very beginning (Heisenberg and Schrödinger) it was established that the properties of quantum objects are described not by numbers, but by operators. In the relationships of the operators themselves, one could see an analogue of Boolean algebra of classical logic. Weizsäcker raised the question of how the physical quantity of time, in describing the motion states of quantum objects, can be represented: an operator or a state vector?

The author of the article shows that the development of quantum mechanics has gone through two stages. The first stage differs in that complex numbers and functions were introduced into physics, in other words, elements of the theory of functions of a complex variable. At the second stage,

* E-mail: chistrod@yandex.ru

spinor calculus penetrated into quantum physics. If at the first stage methods were presented for describing the external degrees of freedom (motion) of elementary particles and other quantum objects, then the second stage was marked by the description of *internal* degrees of elementary particles. It became possible to understand that the measured mass of an electron or any other fermion is an averaged quantity, it consists of two ingredients: a positive mass and a negative mass (two values of the corresponding operator). An important role in this discovery played the operation of dialectical negation (privation), borrowed from Heidegger's fundamental ontology.

Keywords: mathematical foundations of quantum mechanics, quantum logic, privation, time, two steps in the development of quantum theory