

А. А. ПЕЧЕНКИН

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ В «ЛЕКЦИЯХ» Л. И. МАНДЕЛЬШТАМА И ЕЕ ИДЕОЛОГИЧЕСКИЙ КОНТЕКСТ*

Разночтения мандельштамовской интерпретации квантовой механики

Интерпретация квантовой механики в «Лекциях» Л. И. Мандельштама, прочитанных им в 1939 г. и называемых также «Теория косвенных измерений», сама интерпретировалась по-разному. Так, например, близкий к Мандельштаму И. Е. Тамм, поддерживавший «ортодоксальную» (копенгагенскую) интерпретацию [1] и, судя по всему, ей никогда не изменивший (в 1962 г., выступая в Политехническом музее на вечере памяти Н. Бора, он заявил, что «несомненно не существует правомерных интерпретаций квантовой механики, отличных от копенгагенской» [2, с. 434]), по-видимому, не проводил различия между этой интерпретацией и той, которая изложена в «Лекциях» Мандельштама. По крайней мере, в своих заметках о Л. И. Мандельштаме [3], впервые частично опубликованных в составе биографии, открывающей первый том пятитомного полного собрания научных трудов его старшего товарища и коллеги, И. Е. Тамм назвал анализ основ квантовой механики, данный в «Лекциях», «исключительным по тонкости, глубине и ясности» [4, с. 52].

В свою очередь М. Джеммер указал на близость концепции мандельштамовских «Лекций» к интерпретации квантовой механики в работах Д. И. Блохинцева, строящихся на критике копенгагенского подхода и ставящих во главу угла концепцию «квантовых ансамблей» [5, с. 447]. Сам Д. И. Блохинцев в ряде своих статей, рассматривая аргумент Эйнштейна–Подольского–Розена (далее — ЭПР), солидаризовался с Мандельштамом [6, с. 218; 7, с. 385; 8, с. 121], а его постоянный оппонент В. А. Фок, занимавший позицию, близкую к копенгагенской, неодобрительно называл интерпретацию Мандельштама «чисто статистической» и находил в ней «неправильный ответ» на вопрос о том статистическом коллективе, к которому относится волновая функция [9; 10, с. 170].

Не возражая против сближения позиций Л. И. Мандельштама и Д. И. Блохинцева, И. С. Алексеев тем не менее настаивал на том, что между ними нельзя ставить знак равенства [11, с. 110]. У Мандельштама, по мнению Алексеева, смешаны два понимания ансамбля — множества измерений и множества квантовых систем (частиц).

Такие разночтения «Лекций» Л. И. Мандельштама в принципе понятны. Физики, тщательно формулируя математический аппарат теории, не всегда строго формулируют его интерпретацию, особенно интерпретацию философского толка. Когда физики говорят о копенгагенской интерпретации

* Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 96-06-80118).

квантовой теории, они не всегда имеют в виду одну и ту же систему положений. Аналогично обстоит дело и с другими интерпретациями, например с той, которую В. А. Фок называет «чисто статистической». Однако за последние десятилетия были предложены классификации интерпретаций квантовой механики, содержащие критерии, определяющие тип интерпретации. Мы, стало быть, можем определить тот тип интерпретации, который изложен в «Лекциях» Л. И. Мандельштама.

К какому типу интерпретаций квантовой механики принадлежит интерпретация Л. И. Мандельштама?

Чтобы расставить точки над *i* в замечании И. С. Алексеева, надо провести различие между минимально инструменталистской интерпретацией квантовой механики и интерпретациями ради понимания (см. [12, с. 44 – 51]). Минимальная инструменталистская интерпретация, состоящая из расчетного и статистического алгоритмов, говорит нам, каким образом математический аппарат квантовой механики связан с возможными результатами измерения, возникающими, когда это измерение повторено много раз (бесконечное число раз) над системами, приготовленными в одном и том же квантово-механическом состоянии.

Л. И. Мандельштам в своих «Лекциях» действительно рассуждает не только на уровне минимальной инструменталистской интерпретации, но и обращается к интерпретации ради понимания. Однако в таком комбинировании интерпретаций он далеко не одинок. Его можно обнаружить у всех физиков, которые видели в квантовой механике не только инструмент расчетов, но и аппарат понимания мира. Чтобы идентифицировать интерпретацию Мандельштама, надо, стало быть, обратиться к классификации интерпретаций ради понимания.

Причем релевантной данному случаю оказывается классификация интерпретаций квантовой механики на интерпретации, предполагающие, что волновая функция обеспечивает полное и исчерпывающее описание отдельной квантовой системы (например, электрона), и интерпретации, согласно которым волновая функция описывает ансамбль (в принципе бесконечный) одинаково приготовленных квантовых систем (см. [13]). Последние интерпретации называют «статистическими» или, вслед за В. А. Фоком, «чисто статистическими», поскольку уже минимальная инструменталистская интерпретация носит статистический характер, а статистические интерпретации ради понимания претендуют на большее. Они не просто связывают математический аппарат квантовой механики с результатами измерений, но и объясняют смысл волновой функции!

Уже на первых страницах своих «Лекций» Л. И. Мандельштам высказывается в пользу статистической интерпретации. В отличие от Н. Бора, В. Гейзенберга и других физиков, формулировавших копенгагенскую интерпретацию квантовой механики или примыкавших к ней и настаивающих на том, что квантовая теория дает в максимально возможной степени

точное описание отдельных физических систем, Мандельштам подчеркивал, что эта теория изучает «микромеханические коллективы» (ансамбли), определенные «фиксацией макропараметров» [14, с. 333], что «физические величины (наблюдаемые) относятся в квантовой механике не к индивидуальным случаям, а к совокупностям» [14, с. 385].

Однако недаром мы повели речь о статистических интерпретациях квантовой механики, а не об одной такой интерпретации. Под этим подразумеваются, по меньшей мере, две интерпретации — квазиклассическая интерпретация, предполагающая принципиальную неполноту квантовой механики (трактующая соотношения неопределенностей как чисто феноменологическую формулу, за которой скрывается невыразимая в наличной квантовой механике динамика), и неклассическая, — исходящая из полноты этой теории. Согласно первой, квантовая механика представляет собой теорию статистических коллективов, элементы которых подчинены некой скрытой динамике. Вторая версия статистической интерпретации, наоборот, исходит из фундаментальности не только вероятностных закономерностей в физике микромира, но и того типа статистики, который характерен именно для квантовой механики (типа логически связанного с соотношениями неопределенностей).

Первая (квазиклассическая) версия исторически восходит к той критике копенгагенской точки зрения, которая велась А. Эйнштейном и сконцентрировалась в 1935 г. в аргументе Эйнштейна–Подольского–Розена. Эйнштейновская критика, к которой он возвращался на протяжении всей своей жизни, может быть резюмирована в его выводах о том, что « Ψ -функция дает неполное описание реального положения вещей» [15, с. 612] и что «фундаментально статистический характер квантовой теории является просто следствием неполноты этого описания» [16, с. 338]. Аргумент ЭПР — это аргумент в пользу неполноты квантовой теории. ЭПР рассмотрели мысленный эксперимент, при котором две микросистемы (частицы) после взаимодействия разошлись на такое большое расстояние, при котором их можно считать свободными системами. Тогда непосредственное измерение импульса и координаты, проведенное над одной из микросистем (микросистемой II), позволяет по законам сохранения и правилам квантовой механики однозначно определить импульс и координату другой микросистемы (микросистемы I), удаленной от микросистемы II. ЭПР ввели достаточный критерий реальности, согласно которому реальной следует считать ту характеристику системы, значение которой может быть с достоверностью предсказано, причем без нарушения этой системы. По этому критерию, координата и импульс микросистемы I одновременно являются реальными. ЭПР также ввели необходимое условие полноты теории: в теории должны быть представлены все элементы физической реальности, относящиеся к области ее приложения. По этому критерию квантовая механика с ее соотношениями неопределенностей оказывается неполной теорией.

Отстаивая копенгагенскую интерпретацию квантовой механики и, стало

быть, полноту этой теории, Н. Бор подверг критике ЭПР-критерий реальности. Формулируя свой критерий, он, как известно, постулировал нелокальность — нарушение принципа локальности, который может быть выражен следующим образом: «удаленное измерение (*remote*) не может сделать определенной наблюдаемую, которая до этого была неопределенна и неосмысленна» [12, с. 77]. Боровская нелокальность была по существу развитием идеи неконтролируемого взаимодействия, посредством которого копенгагенцы истолковывали соотношение неопределенностей и строили свою концепцию измерения в квантовой теории: измерение возмущает неконтролируемым образом микросистему и тем самым привносит неустранимый вероятностный элемент в ее описание. Нелокальность, постулированная Бором, может быть понята как «семантическое возмущение» [17, с. 35]. Согласно Бору, координата (и соответственно импульс) не присуща системе I самой по себе. Эти характеристики у системы I делает физически осмысленными и определенными измерение, выполняемое над системой II. При этом действует «дополнительность»: если у системы II измеряют импульс, то невозможно одновременное измерение координаты, и наоборот.

Контркритика Бора не заставила А. Эйнштейна изменить своей позиции, сформулированной в виде дилеммы: либо квантовая механика как физическая теория неполна, либо в ней заложена нелокальность, противоречащая всему опыту физики. Эйнштейн по-прежнему склонялся к выводу о неполноте квантовой теории.

Выше, разграничивая две версии статистической (чисто статистической) интерпретации квантовой механики, мы использовали, однако, понятие статистической полноты теории. В сравнении с ЭПР-полнотой, — которая может быть определена, если необходимый критерий полноты, выдвинутый ЭПР, превращен в необходимый и достаточный, — статистическая полнота более выразительна с точки зрения статистической интерпретации квантовой механики [18]. По сути дела понятие статистической полноты было сформулировано И. фон Нейманом и означало гомогенность всякого чистого ансамбля — невозможность выделить в нем бездисперсный ансамбль.

Из ЭПР-неполноты квантовой механики с очевидностью следует ее статистическая неполнота*. Обратное, впрочем, неверно. Следуя ЭПР-аргументу, А. Эйнштейн настаивал и на статистической неполноте квантовой механики. Он придерживался первой (квазиклассической) версии статистической интерпретации квантовой механики, нацеливающей на преодоление соотношений неопределенностей при дальнейшем развитии квантовой физики.

Хотя Л. И. Мандельштам высказывался в пользу фундаментальности соотношений неопределенностей и, следовательно, их мировоззренческой значимости (см. [14, с. 385–386]), непосредственное сопоставление его высказываний о квантовой теории с эйнштейновскими вряд ли продуктивно.

* «Если мы настаиваем, что все элементы реальности играют непосредственную роль в определении измеряемых вероятностей» [18, с. 976].

В «Лекциях» он рассуждал о квантовой механике скорее как педагог, чем как исследователь. Однако полезно рассмотреть тот анализ ЭПР-аргумента, который проводит Мандельштам в «Лекциях» и который сформулирован в виде возражения Эйнштейну. «Возможно, что описание при помощи волновой функции, — излагает Л. И. Мандельштам позицию Эйнштейна, — относится только к некоторому классу состояний и что существуют измерения, относящиеся к случаям, которые не охватываются таким описанием, т. е. возможно, что теория с функцией Ψ неполна и ее можно дополнить так, чтобы не было принципа неопределенности» [14, с. 362]. «Эйнштейн, — говорит Л. И. Мандельштам далее, — все же ставит вопрос не так глубоко. Ему сразу возразил Бор, и потом Эйнштейн признал свою ошибку» [14, с. 362]. Последнее, как отмечалось выше, неверно, но вспомним, что Л. И. Мандельштам читал свои лекции в 1939 г.

Опровергая ЭПР-аргумент, Л. И. Мандельштам все же не идет по стопам Н. Бора. Его спор с Эйнштейном разворачивается в пределах статистической интерпретации квантовой механики. «Пolemика Эйнштейна и Бора, — говорил Л. И. Мандельштам, — вызвана грубой ошибкой в вопросе о коллективе» [14, с. 333]. Н. Бор, полемизируя с Эйнштейном, защищал полноту квантовой механики как теории индивидуальных физических систем. Л. И. Мандельштам отстаивает статистическую полноту квантовой механики — невозможность пополнить эту теорию, приблизив ее статистическое описание к классическому. Вопрос же о поведении индивидуальных систем, согласно Мандельштаму, не имеет отчетливого физического смысла.

Л. И. Мандельштам считал, что ЭПР-аргумент был еще до своего появления опровергнут И. фон Нейманом, который «исследовал, возможно ли „суммарное, общее“ описание при помощи Ψ -функции так уточнить и пополнить „скрытыми“ параметрами, чтобы не было соотношения неопределенности» [14, с. 362]. Но И. фон Нейман отстаивал статистическую полноту квантовой механики. Об этом Мандельштам не говорит, поскольку для него никакой другой полноты не существует.

И. фон Нейман доказывает статистическую полноту квантовой механики методом от противного: допуская неполноту, он приходил к противоречию с математическим аппаратом, оформляющим минимальную инструменталистскую интерпретацию этой теории. Мандельштам, однако, не ограничился ссылкой на это доказательство. Вслед за Н. Бором, но не по Бору, он приводит физическую аргументацию против неполноты квантовой механики. Л. И. Мандельштам буквально продолжает рассуждение И. фон Неймана, опровергающее тезис о неполноте ссылкой на копенгагенскую идею возмущения микросистемы при измерении (фон Нейман, конечно же, пишет о возмущении ансамбля микросистем) [19, с. 227–228].

Л. И. Мандельштам начинает там, где фон Нейман оставляет физику и переходит к вышеупомянутому математическому доказательству. Он, вслед за Н. Бором, постулирует нелокальность, но иного рода — статистическую нелокальность, которая может быть записана следующим образом: «значение квантово-механической наблюдаемой может при ее косвенном

измерении зависеть, вообще говоря, от результата удаленного опыта» [12, с. 77, 107]. Следуя логике ЭПР-аргумента, можно было бы предположить, что измерение, выполняемое над системой II и не затрагивающее систему I, позволило бы выделить бездисперсный подансамбль системы I. Это, однако, неверное предположение. «Физически неправильно, — замечает Л. И. Мандельштам, — когда Эйнштейн говорит: „Мы измеряем систему II, не затрагивая систему I“. Спрашивается, откуда система II получила свой импульс? От столкновения с системой I. Значит, если мы берем только те случаи, когда система II обладает определенным импульсом, то мы берем тем самым лишь определенные удары со стороны системы I. Если же у системы II определенная координата, то она получила от системы I другие удары, или, точнее, удары, полученные ею от системы I, не являются определенными» [14, с. 364].

Интересно, что Л. И. Мандельштам понимал проблему нелокальности, возникшую при дискуссии А. Эйнштейна с копенгагенцами в 1927 г. на Сольвеевском конгрессе [14, с. 347–348]. При этом он, отвергая доводы А. Эйнштейна, не разделил позиции Н. Бора, введившего представление об особом «квантовом явлении», маскирующее трудности, возникающие при рассмотрении нелокальности. А. Эйнштейн показал в 1927 г., что концепция редукции волнового пакета, поддерживаемая копенгагенцами, ведет к признанию дальнего действия.

Л. И. Мандельштам, вслед за сторонниками копенгагенской интерпретации, отверг этот вывод. Однако он рассуждал на уровне той интерпретации квантовой механики, которая выше была названа минимальной инструменталистской. Им был сформулирован аналог соотношения между статистиками удаленных друг от друга измерений, который сейчас обычно называют статистической локальностью [12, с. 114–115].

При разборе ЭПР-аргумента Мандельштам уже вводит вопрос о локальности в контекст интерпретации ради понимания. Как и Бор, он допускает нарушение локальности при измерении, выполненном над системой II. Однако его нелокальность иного рода. Бор допускает мгновенное возникновение некой физической характеристики у системы I в ответ на измерение, проведенное над удаленной системой II. Мандельштам же сразу высказывается в пользу мгновенной актуализации у ансамбля систем I тех свойств, которые у него были (объективно были) потенциально. До измерения в этом ансамбле были смешаны все «координаты и импульсы». Проводя же измерения над системами II, мы выделяем подансамбли систем I, причем измеряя координату, мы выделяем один подансамбль систем I, измеряя импульс, — выделяем другой.

Итак, Мандельштам, принимая статистическую (или, по терминологии В. А. Фока, чисто статистическую) интерпретацию квантовой механики, защищал статистическую полноту этой теории. Позже Д. И. Блохинцев, солидаризовавшийся, как упоминалось выше, с ответом Л. И. Мандельштама на ЭПР-аргумент, ввел понятие статистической полноты в свое определение квантового ансамбля [8, с. 34].

**Идеологический контекст мандельштамовских «Лекций»:
круг первый — дискуссии о причинностях в квантовой физике**

Исторически дискуссии о причинности в квантовой физике были обусловлены противостоянием копенгагенской интерпретации квантовой механики и позиции А. Эйнштейна. Копенгагенская интерпретация настаивает на том, что квантовая механика дает полное, исчерпывающее описание отдельной микросистемы. Однако специфика копенгагенской интерпретации заключена в тех представлениях, посредством которых аргументируется полнота квантовой теории. Это в первую очередь вышеупомянутое представление о «неконтролируемом взаимодействии измерительного прибора и микросистемы». Признавая его, копенгагенцы открывали путь субъективизму и поэтому — индетерминизму. Если не гасить представление о «неконтролируемом взаимодействии» какими-либо контргипотезами, например гипотезами о «скрытых параметрах прибора», то оно оказывается равнозначным субъективистскому тезису об изначальной зависимости реальности от познающего человека и, стало быть, о неустранимом вмешательстве человека в причинные связи, существующие в природе.

А. Эйнштейн, наоборот, склонялся к тому, что микросистема обладает определенными значениями координаты (и соответственно импульса), даже если она не находится в собственном состоянии этой наблюдаемой*. Другое дело, что это значение остается неизвестным. Его позиция предполагала онтологический детерминизм — принципиально теоретическую возможность проследить в природе причинные связи или, что то же самое, предсказывать будущие события.

Индетерминизм, однако, не только логическое следствие копенгагенской интерпретации, но и историческая ее предпосылка. Как показал П. Форман, в середине 20-х гг., т. е. во время формулирования фундаментальных положений квантовой механики, в немецкоязычном сообществе физиков восторжествовал индетерминизм, отвечающий духу философии жизни и выразившийся в отрицании большинством физиков причинности или в дистанцировании от этого понятия [20]. Эйнштейн стал явно и отчетливо выступать против индетерминизма лишь где-то в конце 20-х гг., а его позиция сформировалась уже в 30-е гг., причем не как самостоятельная, а как антитеза копенгагенской точке зрения.

Л. И. Мандельштам как ученый, сложившийся в Германии и поддерживавший контакты со своими немецкими коллегами, в том числе Р. фон Мизесом, сторонником копенгагенской интерпретации, в своих «Лекциях», разумеется, реагировал и на те вопросы, которые вставали среди советских физиков, осваивавших и разрабатывавших квантовую теорию. Его «Лекции» не могут рассматриваться вне контекста наметившейся в 30-е гг. в советской физике тенденции противостоять копенгагенской интерпретации квантовой механики, но делал он это более мягко, чем А. Эйнштейн,

* По крайней мере, так может быть понята позиция ЭПР.

Э. Шредингер и другие ученые Запада, а именно — не ставя под сомнение полноту квантовой теории. «Лекции» Л. И. Мандельштама, как и некоторые другие работы по квантовой механике, появившиеся в 30-е гг., не следовали линии индетерминизма копенгагенской интерпретации. Сохраняя полностью «минимальную инструменталистскую интерпретацию» квантовой механики, используя представление о «неконтролируемом воздействии измерительного прибора на квантовую систему», эти работы гасили индетерминизм копенгагенской интерпретации, переистолковывая понятие квантового состояния как понятие состояния ансамбля квантовых систем.

Прежде всего, надо подчеркнуть, что тенденция противостоять индетерминизму копенгагенской интерпретации не имеет ничего общего с той оппозицией квантовой механике, которая имела место в СССР со стороны ряда физиков, ориентированных на классическую науку (центральной фигурой среди последних был А. К. Тимирязев, видная фигура физического факультета МГУ). Тенденция, которая материализовалась в «Лекциях» Мандельштама, была тенденцией полного и безоговорочного принятия квантовой теории. Оппозиция же А. К. Тимирязева и др. была именно оппозицией квантовой механике: в связи с критикой индетерминизма и идеализма эта группа отбрасывала некоторые фундаментальные положения «теории квант». Кроме того, Мандельштам и близких к нему физиков отделяли от Тимирязева и чисто человеческие отношения: Л. И. Мандельштам пришел на физический факультет МГУ и в НИИ физики при физфаке в 1925 г. на волне протестов против той некомпетентности в вопросах современной физики, которая культивировалась в МГУ под руководством Тимирязева, возглавлявшего НИИ физики до 1930 г.

Хотя мандельштамовские «Лекции» принадлежат к потоку советских работ, направленных на освоение и разработку основ квантовой механики, их не следует смешивать с публикациями, отвечающими основным установкам копенгагенской интерпретации этой теории (к последним, кроме упомянутой статьи И. Е. Тамма, надо отнести публикации В. А. Фока, Л. Д. Ландау, М. П. Бронштейна, а также Д. И. Блохинцева, который начал свою карьеру как ученик Тамма и до войны был на позициях, близких к копенгагенским). Как отмечено в биографии, Л. И. Мандельштам, опубликовав в 1928 г. совместно с М. А. Леонтовичем статью (в современной терминологии) о прохождении частицы через потенциальный барьер, долго ничего не публиковал по квантовой теории: «по-видимому, в первой половине 30-х гг. не была достигнута та окончательная ясность, «прозрачность», в физической интерпретации и в понимании принципиальных основ квантовой теории, которая удовлетворяла бы необычайно высоким требованиям Л. И. Мандельштама» [4, с. 52]. Однако уже в первой половине и в середине 30-х гг. появляются первые публикации И. Е. Тамма, В. А. Фока и М. П. Бронштейна, пронизанные духом копенгагенской интерпретации (см. [21]).

Отличая по направленности «Лекции» Л. И. Мандельштама от работ, близких копенгагенской интерпретации, нельзя вместе с тем не отметить,

что и «советские копенгагенцы» тоже стремились преодолеть индетерминизм (и субъективизм), содержащийся в интерпретации Н. Бора, В. Гейзенберга и примыкающих к ним физиков. Так, например, И. Е. Тамм при всей своей симпатии к копенгагенской интерпретации оговаривал, что в квантовом мире рушатся лишь «обычные формально-логические представления о причинности», и ставил задачу проследить причинность в более широком плане — «выяснить связь между квантовыми закономерностями атомных процессов и классическими законами непрерывных и причинно-обусловленных явлений макрокосма» [1, с. 6; 7].

В. А. Фок, который во второй половине 30-х гг. становится центральной фигурой в дискуссиях об интерпретации квантовой теории, тоже избегал индетерминистических выводов. Но делал он это ценой радикализации понятия состояния квантовой системы. Как и фон Нейман, В. А. Фок считал, что волновая функция является «записью сведений об изучаемой системе, полученных в результате некоторого максимально точного опыта» [22, с. 13]. Однако в отличие от фон Неймана, отказавшись от «объективного описания процессов», В. А. Фок сохранил установку на «признание объективных свойств природы» [23, с. 58]. Более того, он, по крайней мере, припустил индетерминистический характер представления о «неконтролируемом воздействии», которое он перенял у «копенгагенцев». Если волновая функция — лишь «запись сведений», то прерыв причинных связей, вызванный измерением (редукция волнового пакета), означает лишь переход от одной записи к другой и происходит скорее в сознании исследователя, нежели в природе.

Начало же тенденции, которая материализовалась в мандельштамовских «Лекциях», было положено К. В. Никольским, опубликовавшим в 1936 г. в «Успехах физических наук» статью, трактующую квантовую механику в том духе, который В. А. Фок затем назовет «чисто статистическим». Эта статья наглядно показывает антииндетерминистский корень «чисто статистического подхода». Согласно К. В. Никольскому, квантовая система («квантовое тело», как он пишет) всегда включена в цепь реакций, завершающуюся «классическим механизмом». При этом «определение квантового партнера посредством классических средств», вообще говоря, неоднозначно (род «неконтролируемого взаимодействия»). «Возможно, однако, обойти это затруднение (неоднозначность), связанное с применением классических понятий в квантовой области, а именно — поставить задачу статистически. Статистическая постановка задачи не будет устранением неоднозначности, но будет тем методом, который, несмотря на неоднозначность, позволяет совершенно объективно характеризовать квантовые процессы» [24, с. 54].

К. В. Никольский значительно радикализовал свою философию после критического выступления В. А. Фока, заключившего, что, «хотя в квантовой механике встречаются формулы, аналогичные формулам Никольского», в статье Никольского они «абсолютно не обоснованы» [25, с. 554]. Никольский заявил, что «концепция, развиваемая Бором, совершенно несо-

вместима с прогрессивным направлением в теоретической физике, являясь последовательно проводимой идеалистической, а именно — махистской концепцией» [26, с. 555]. Он выразил озабоченность по поводу деятельности «советского филиала» копенгагенской школы, маскирующего копенгагенские взгляды «под материализм». К этому «филиалу» он отнес И. Е. Тамма, Л. Д. Ландау, М. П. Бронштейна и В. А. Фока.

В своей популярной статье Никольский объявил, что «использование соотношения неопределенностей для отдельного акта измерения» ведет к позитивизму [27, с. 161]. В книге «Квантовые процессы», вышедшей в 1940 г., т. е. уже после того как Л. И. Мандельштам прочел свои «Лекции», Никольский, подобно Мандельштаму, дистанцируется как от копенгагенской интерпретации Бора–Гейзенберга, так и от позиции Эйнштейна, рассматривающего теорию атомных процессов как «статистическую теорию классического типа» [28, с. 147].

К. В. Никольский был, как и Л. И. Мандельштам, сотрудником Физического института АН СССР. Он встречался с Мандельштамом, правда, ничего конкретного об их контактах неизвестно. Тем не менее «Лекции» Мандельштама строились вокруг того же вопроса, который поставил Никольский: что описывает волновая функция — ансамбль или отдельный объект, и дают на него фактически тот же ответ. Л. И. Мандельштам, правда, не заходил так далеко в своих философских экскурсах, и тем более ему были совершенно чужды появляющиеся у Никольского идеологические заявления, имевшие в то время политический характер. Л. И. Мандельштам строго держался уровня интерпретации физической теории. Он принимал, вслед за «копенгагенцами», представление о «неконтролируемом воздействии», подчеркивая его интерпретативный характер (это нередко подчеркивали и копенгагенцы). Л. И. Мандельштам, однако, был очень осторожен в выводах о причинности. Как отмечалось выше, настаивая на статистической полноте квантовой механики, Л. И. Мандельштам следовал фон Нейману. Но у Мандельштама мы не найдем высказываний типа: «в настоящее время не существует ни повода, ни извинения для разговоров о причинности в природе» [19, с. 243]. Более того, он стремился смягчить выводы фон Неймана: «Говорят, что Нейман доказал невозможность построения теории на детерминистической основе, — писал Л. И. Мандельштам. — По моему мнению, такая и подобные формулировки мало что говорят» [14, с. 377]. «Если иногда говорят, что Нейман доказал невозможность построения каузальной атомистической теории, то это неверно» [14, с. 387].

После смерти Л. И. Мандельштама статистическую интерпретацию, как отмечалось выше, взял на вооружение Д. И. Блохинцев. Как бы продолжая дело Никольского, он пустился, излагая эту интерпретацию, во все тяжкие идеологической и политической полемики и тем самым скомпрометировал ее в глазах советских физиков. Не исключено, что именно идиосинкразия И. Е. Тамма к Д. И. Блохинцеву, о которой говорит, например Е. Л. Фейнберг [29], помешала тому распознать в «Лекциях» Л. И. Мандельштама статистическую интерпретацию квантовой механики.

Идеологический контекст: круг второй — теория колебаний

Поскольку теория колебаний всегда занимала «одно из главных мест в размышлениях и творчестве Л. И. Мандельштама» [4, с. 39] и была сквозной темой его философской рефлексии, не лишена смысла гипотеза о том, что занятие этой теорией оказало влияние на мандельштамовские «Лекции» по квантовой механике. Это влияние, однако, могло быть только косвенным: увлеченность теорией колебаний, укорененная в его творческом становлении и развитии, в успехах его как ученого и педагога, склоняла этого физика к фундаментализации этой теории, а она, в свою очередь, оборачивалась фундаментализацией классической физики (и была обратной стороной последней), что далее вело его к предпочтению идеологии детерминизма перед идеологией индетерминизма.

Как известно, Л. И. Мандельштам начинал свою научную карьеру в Страсбурге в Институте физики под руководством Ф. Брауна, известного специалиста в области радиофизики, получившего вместе с Маркони Нобелевскую премию. Мандельштам стал первым доктором в области «беспроводной телеграфии» и уже в молодости читал лекции по электромагнетизму и теории колебаний в Страсбургском университете (см. [30, с. 12–16; 31, с. 145]). И впоследствии, переехав в Россию, он вместе со своим страсбургским товарищем Н. Д. Папалекси продолжал работу по теории колебаний. Папалекси писал: «Не подлежит никакому сомнению, что атмосфера электромагнитных колебаний, в которую попал Леонид Исаакович, вступая в научную жизнь, сыграла очень большую роль в формировании основных направлений его научной деятельности и определила тот „колебательный“ подход, который так характерен для творчества Л. И.» [30, с. 14]. В том же духе писал один из учеников Мандельштама, сам ставший классиком теории колебаний, А. А. Андронов: «Л. И. Мандельштам любил теорию колебаний... и понимал ее своеобразно и широко» [32, с. 105].

Идея «колебательной взаимопомощи различных разделов физики», упоминающаяся в нашей литературе в связи с именем Л. И. Мандельштама, высказывалась уже его учителем Ф. Брауном. Она содержится в его Нобелевской речи, произнесенной в 1909 г.: новоявленный Нобелевский лауреат говорил о продуктивных колебательных аналогиях между оптикой и теорией электричества, а не только между этими областями физики и механики (об этом до него говорили многие [31, с. 243; 33]). Воспитанный в духе физики XIX в., Ф. Браун видел в теории колебаний унифицирующее начало, способное объединить различные области знаний [31, с. 157].

Рассматривая высказывания Л. И. Мандельштама о теории колебаний, можно отметить их радикализацию от «Лекций по теории колебаний», прочитанных в 1930–1932 гг., к «Лекциям по некоторым вопросам теории колебаний», начатым в 1944 г. и так и не оконченным. В «Лекциях» 1930 г. он говорил главным образом о «колебательной взаимопомощи» между различными разделами физики и называл «колебания» важной и специфической областью [34, с. 302]. В 1944 г. появилась характеристика теории ко-

лебаний как особого «интернационального языка» физики, существующего наряду с национальными языками оптики, акустики, электромагнетизма и т. д., а также об огромном диапазоне явлений, в который теория колебаний «вносит единообразное понимание» [14, с. 408]. Л. И. Мандельштам, ссылаясь на английского философа Уайтхеда (это, кстати, единственный философ, на которого он ссылался в опубликованных работах), замечает, что рождение теоретической физики было связано с применением к различным вопросам понятия периодичности. В развитие этого тезиса он говорит, что главные физические открытия «были по существу колебательными» [14, с. 409].

Крупный физик, в прошлом аспирант Л. И. Мандельштама С. М. Рытов считает, что в «Лекциях» 1944 г. Л. И. Мандельштам говорил о фундаментальной роли теории колебаний в физике [35, с. 47]. Примечательно, что В. Гейзенберг (правда, несколько позже) проводил идею полифундаментализма в физике, выделяя пять «концептуальных систем», в основе которых лежат соответственно классическая и статистическая механика, специальная теория относительности, квантовая теория и общая теория относительности [36, с. 73–75].

Вряд ли правомерно непосредственно сталкивать эти высказывания Л. И. Мандельштама и В. Гейзенберга. Однако тенденции, заложенные в них, различны.

Уже в «Лекциях» 1930–1932 гг. Л. И. Мандельштам стремился понять многое в квантовой механике на базе теории колебаний, классической в своих основах. Так, например, он писал: «До последнего времени считалось, что колебания — вторичное явление, что первичным является положение и скорость движения частицы. Но в этом представлении произошел переворот. Волновая механика утверждает, что целостность процесса есть нечто первичное, как и положение частицы... Таким образом то, что характерно для теории колебаний — рассмотрение целостного процесса — лежит в самой постановке проблем микромеханики» [34, с. 14].

Заметим, что Л. И. Мандельштам здесь пишет не о квантовой теории колебаний, получившей развитие благодаря квантовой механике, а о теории колебаний как о предпосылке квантовой механики. «Волновая механика, — писал Л. И. Мандельштам, — в каком-то смысле рассматривает всякое тело как колебательную систему» [34, с. 302].

Вместе с тем Л. И. Мандельштам никогда не выводил квантовую механику из теории колебаний (к чему иногда склонялся Э. Шредингер), а подчеркивал, что строит лишь аналогии. Более того, в начале 30-х гг. он явно отдавал пальму первенства в мировоззренческих вопросах квантовой механике, называя теорию колебаний «скромной областью» [37]. Однако в 1934 г. он заявляет, что, «безусловно, базой современной физики является классика, но, с другой стороны, кванты, по-видимому, единственный путь для глубокого понимания микрокосма» [14, с. 287]. Рассмотрев вопрос о дисперсии, он поясняет, что имеет в виду: «сведение к классике может иметь и более серьезное значение при исследовании принципиально новых вопросов» [14, с. 294].

По-видимому, творчество Л. И. Мандельштама, как и любого крупного

ученого, было «многомерным», и его невозможно просмотреть вдоль одной линии — фундаментализации теории колебаний. Но и эта линия прошла сквозь «Лекции» 1939 г. по квантовой механике.

Идеологический контекст: круг третий — дискуссии о вероятности

Выше (со ссылкой на П. Формана) был отмечен поворот немецкоязычного сообщества физиков, внесшего значительный вклад в становление квантовой механики, в сторону индетерминизма. П. Форман объясняет тот поворот адаптацией этого сообщества к его интеллектуальному окружению: в начале века, в 10–20-х гг. в Германии приобрела большую популярность философия жизни, провозглашавшая индетерминизм. Обычно физическая интеллектуальная элита остается равнодушной к своему идеологическому окружению. Однако в условиях Веймарской республики, возникшей в Германии после ее поражения в первой мировой войне, немецкие физики стали ощущать утрату престижа, что сделало их восприимчивыми к тем культурным процессам, которые они ранее игнорировали.

Л. И. Мандельштам, укорененный как физик в немецкой науке, но оказавшийся в России после революции в иной идеологической среде, не разделял мировоззренческих метаморфоз своих немецких коллег. По-видимому, здесь сказалась его специализация: Л. И. Мандельштам не участвовал непосредственно в разработке квантовой механики. П. Форман, однако, указывает в своей статье на немецких физиков, тоже напрямую не участвовавших в работе над новой квантовой механикой (В. Вина, В. Нернста и др.), — но испытывавших воздействие индетерминизма. Поэтому существенна не только личная идеологическая биография Л. И. Мандельштама, но и биография всего советского сообщества физиков. Как отмечалось выше, даже те физики, которые присоединились к копенгагенской интерпретации квантовой механики (И. Е. Тамм, В. А. Фок), делали оговорки в пользу детерминизма. Философски образованный, по свидетельству В. И. Вернадского, Л. И. Мандельштам являет собой показательный пример крупного советского физика, не поддавшегося немецкоязычному увлечению индетерминизмом и сохранившего преданность классическому физическому мировоззрению (см. [38]).

При этом важно отметить известный параллелизм в судьбе немецких физиков в период Веймарской республики и российских — после революции. Российские физики тоже ощущали потерю престижа. Они оказались «буржуазными интеллигентами», находящимися на периферии того гигантского общественного процесса, который охватил всю страну. Более того, они ощущали прямое идеологическое и политическое давление со стороны властей. В этих условиях становится понятно стремление ряда физиков приобщиться к марксистской риторике и даже к марксистской философии. Некоторые физики начинают принимать участие в дискуссиях, разворачивающихся на страницах большевистской прессы или под сенью партийных учреждений. В 30-е гг. практически уже и не было возможности по-другому и в других местах обсуждать философские вопросы естествознания.

В этой связи остановимся на дискуссии, которая велась в кружке физиков и математиков при Коммунистической академии по поводу воззрений фон Мизеса на вероятность [39], а также, по свидетельству Рытова, на семинаре Мандельштама в МГУ [40]. Об участии самого Мандельштама в этих дискуссиях ничего не известно. Известна, однако, позиция его ученика и ближайшего сотрудника — А. А. Андропова, математика А. Я. Хинчина, близкого Мандельштаму, а также Б. М. Гессена, который подготовил под руководством Мандельштама в Коммунистической академии диссертацию по вопросам вероятности, и его Л. И. Мандельштам собирался отрекомендовать фон Мизесу, дабы он взял над ним научное руководство во время его командировки в Германию [41]. Мандельштам с Гессеном потом связывали товарищеские отношения. (Об этом говорит С. М. Рытов [40]. Известно также заявление С. И. Вавилова, сделанное в связи с арестом Гессена, о том, что Гессен, уже сменивший в 1930 г. А. К. Тимирязева на посту директора НИИ физики при МГУ, был назначен заместителем директора Физического института АН СССР «по твердой рекомендации Л. И. Мандельштама, И. Е. Тамма и Г. С. Ландсберга» [42, с. 28].) А. А. Андронов, А. Я. Хинчин и Б. М. Гессен высоко оценивали «объективную» трактовку вероятности, данную фон Мизесом в противоположность классической «субъективной» трактовке. Разногласия внутри них и между ними и фон Мизесом касались математических деталей, а также вопросов обоснования статистической механики. Однако никто из них не принял мизесовского подхода к вероятности в квантовой механике, соответствующего индетерминизму копенгагенской школы. При этом А. А. Андронов и А. Я. Хинчин присоединялись к Б. М. Гессену, который в ряде публикаций разработал систему представлений, отвечающих тому, что выше было названо «онтологическим детерминизмом», представлению о принципиальной теоретической возможности однозначных предсказаний физических явлений. Заметим, если тема философии вероятности была стержневой для Б. М. Гессена и ей он посвятил значительное число статей (см., например, [43; 44]), то А. А. Андронов (в книге, написанной совместно с женой — Е. А. Леонтович-Андроновой) ссылаясь на Б. М. Гессена, чтобы фундировать свои представления о статистической закономерности [45, с. 191], а Хинчин ссылаясь на Гессена, подчеркивая свое несогласие с мизесовской философией физики [46, с. 161].

Детерминистической позицией отмечены и лекции по квантовой механике, которые А. А. Андронов читал в 1934 г. студентам. Это был обычный курс квантовой механики с разбором задач. Однако он содержал философские экскурсы. «Кольман* прав, — говорил А. А. Андронов, — что сейчас в мировом масштабе быют отбой в отношении вероятностных высказываний и соотношений неопределенностей Гейзенберга... Нельзя утверждать, что невозможно построение вместо схемы Гейзенберга–Шредингера–Дирака другой, причинной схемы» [47].

* Е. Кольман — советский философ и партийный деятель. Перед эмиграцией из СССР работал в Институте истории естествознания и техники АН СССР.

Онтологический детерминизм Б. М. Гессена, поддержанный А. А. Андроновым и А. Я. Хинчиным, соответствовал мировоззрению французских материалистов, из представлений которых исходили классики марксизма, высказываниям самих классиков в произведениях, постепенно превращавшихся в «настольные книги», и в конечном итоге — историческому детерминизму марксизма. Разумеется, онтологический детерминизм был выражен не Л. И. Мандельштамом, а его сотрудниками и учениками, принадлежавшими к другому поколению советских ученых. Но в мандельштамовских лекциях 1939 г. можно было найти созвучные этой позиции мотивы.

* * *

Итак, в настоящей статье защищается гипотеза о том, что статистическая (или, по словам В. А. Фока, чисто статистическая) интерпретация квантовой механики, изложенная в «Лекциях» Л. И. Мандельштама, была мотивирована идеологическим окружением ученого. Мы принимаем, что в мировоззрении Мандельштама наличествовал «онтологический детерминизм», соответствовавший духу классической физической теории колебаний, в русле которой шли многие исследования Л. И. Мандельштама и его школы, и согласующийся с устремлениями ряда его молодых учеников и коллег, уделявших время философским проблемам науки. Вряд ли наша гипотеза когда-нибудь превратится в доказанное положение: многое из переписки и прочих документов тех лет не сохранилось.

Список литературы

1. Тамм И. Е. Введение // Наука XX в. Физика. М.-Л., 1929. С. 6–13.
2. Тамм И. Е. Нильс Бор и современная физика. Выступление на вечере памяти Н. Бора в Политехническом музее 16 декабря 1962 г. // Тамм И. Е. Собр. научн. тр. в 2-х томах. Т. 2. М., 1975. С. 428–437. (Впервые опубликовано: Природа. 1963. № 5. С. 44.)
3. Тамм И. Е. О работах Л. И. Мандельштама в области теоретической физики // Академик Л. И. Мандельштам. К 100-летию со дня рождения. М., 1979. С. 131–137.
4. Ландсберг Г. С., Горелик Г. С., Тамм И. Е., Леонтович М. А., Рытов С. М. Краткий очерк деятельности Л. И. Мандельштама // Мандельштам Л. И. Полн. собр. тр. в 5-ти томах. Т. 1. М., 1948.
5. Jammer M. The Philosophy of Quantum Mechanics. N.Y., 1974.
6. Блохинцев Д. И. Критика идеалистического понимания квантовой теории // Успехи физических наук. 1951. Т. XLV. Вып. 2. С. 195–228.
7. Блохинцев Д. И. Критика философских воззрений так называемой «копенгагенской школы» в физике // Философские вопросы современной физики. М., 1952.
8. Блохинцев Д. И. Принципиальные вопросы квантовой механики. Изд. 2. М., 1967.
9. Фок В. А. Рецензия на кн.: Л. И. Мандельштам. Полн. собр. тр. в 5-ти томах. Т. 5. М., 1950 // Успехи физических наук. 1951. Т. XLV. Вып. 1. С. 160–163.
10. Фок В. А. Об интерпретации квантовой механики // Философские вопросы современной физики. М., 1959. С. 154–176.
11. Алексеев И. С. Развитие представлений о структуре атома. Новосибирск, 1968.
12. Redhead M. Incompleteness, Nonlocality, and Realism. Oxford, 1989.
13. Ballentine L. E. The statistical interpretation of quantum mechanics // Review of Modern Physics. 1970. Vol. 42. № 4. P. 359–375.

14. Мандельштам Л. И. Лекции по оптике, теории относительности и квантовой механике. М., 1972.
15. Эйнштейн А. Квантовая механика и действительность // Эйнштейн А. Собр. научн. тр. в 4-х томах. М., 1966. Т. 3. С. 612–616.
16. Письмо Эйнштейна Шредингеру // Шредингер Э. Избр. тр. по квантовой механике. М., 1976.
17. Fine A. The Shaky Game. Einstein Realism and Quantum Theory. Univ. of Chicago Press. Chicago–London, 1986.
18. Elby A., Brown H. R., Foster R. What makes a theory physically «complete»? // Foundations of Physics. 1993. Vol. 23. № 7. P. 971–984.
19. Нейман И. Математические основы квантовой механики. М., 1964.
20. Forman P. Weimar culture, causality, and quantum theory, 1918–1927 // Historical Studies in the Physical Science. 1971. № 3. P. 1–117.
21. Делокаров К. Х. Методологические проблемы квантовой механики в советской философской литературе. М., 1982.
22. Фок В. А. Физический смысл волновой функции // Природа. 1936. № 4. С. 7–13.
23. Фок В. А. Основные идеи квантовой механики // Природа. 1936. № 3. С. 52–58.
24. Никольский К. В. Принципы квантовой механики // Успехи физических наук. 1936. Т. XVI. Вып. 5. С. 537–565.
25. Фок В. А. К статье К. В. Никольского «Принципы квантовой механики» // Успехи физических наук. 1937. Т. XVII. Вып. 4. С. 552–554.
26. Никольский К. В. Ответ В. А. Фоку // Успехи физических наук. Т. XVII. 1937. Вып. 4. С. 554–558.
27. Никольский К. В. О путях развития теоретической физики в СССР // Под знаменем марксизма. 1938. № 1. С. 160–172.
28. Никольский К. В. Квантовые процессы. М., 1940.
29. Фейнберг Е. Л. Интервью, данное А. А. Печенкину. 23 декабря 1992 г.
30. Папалекси Н. Д. Леонид Исаакович Мандельштам // Мандельштам Л. И. Полн. собр. тр. в 5-ти томах. Т. 1. М., 1948. С. 7–31.
31. Kurylo F., Susskind Ch. Ferdinand Braun. A life of Nobel Prize winner. Cambridge (Mass.), 1988.
32. Андронов А. А. Л. И. Мандельштам и теория колебаний // Академик Л. И. Мандельштам. К 100-летию со дня рождения. М., 1979.
33. Браун Ф. Мои работы по беспроволочной телеграфии и электронике. Одесса, 1910.
34. Мандельштам Л. И. Лекции по теории колебаний. М., 1972.
35. Рытов С. М. Идею наследие Л. И. Мандельштама и его дальнейшее развитие // ВИЕТ. 1988. № 3.
36. Гейзенберг В. Физика и философия. М., 1963.
37. Мандельштам Л. И. Вопросы электрических колебательных систем и радиотехники // Мандельштам Л. И. Полн. собр. тр. в 5-ти томах. Т. 3. М., 1950. С. 52–96.
38. Вернадский В. И. Дневник 1938 г. // Дружба народов. 1991. № 2–3.
39. Архив РАН. Ф. 350. Оп. 2. № 397.
40. Рытов С. М. Интервью, данное А. А. Печенкину. 19 декабря 1992 г.
41. Архив РАН. Ф. 364. Оп. 3а. № 17.
42. Горелик Г. Е. Москва, физика, 1937 г. // ВИЕТ. 1992. № 1.
43. Гессен Б. М. Статистический метод в физике и новое обоснование теории вероятностей Р. Мизесом // Естествознание и марксизм. 1929. № 1. С. 33–58.
44. Гессен Б. М. Предисловие // Гааз А. Волны материи и квантовая механика. М.-Л., 1930.
45. Андронов А. А., Андропова Е. А. Лаплас. Жизнь, мировоззрение, место в истории науки. М., 1930.
46. Хинчин А. Я. Учение Мизеса о вероятностях и принципы физической статистики // Успехи физических наук. 1929. Т. 9. Вып. 2. С. 141–166.
47. Андронов А. А. Лекции по квантовой механике, прочитанные в Горьковском университете. (Не опубликовано.) Записано А. Г. Любиной.—