

Г. Г. ДЕМИРЧОГЛЯН

ПРИБОР И ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ В ФИЗИОЛОГИИ

В статье указывается, что ошибочным является как недооценка, так и переоценка принципа дополнительности применительно к исследованию физиологических процессов.

Еще бытует представление о том, что биологический эксперимент вообще и нейрофизиологический в частности может быть организован так, чтобы влияние неизбежно создаваемых в объекте исследования возмущений стало бы сколь угодно малым. Не секрет, что во многих случаях подобный вопрос вообще не ставится или же априорно допускается, что возможные воздействия пренебрежимо малы и не подлежат учету. Между тем совершенно очевидно, что и в сфере биологии никакими путями невозможно избежать взаимодействия прибора и изучаемого явления. Это — следствие объективной реальности, вытекающее из самой сущности и материальности эксперимента. Вопрос выливается в проблему, заслуживающую самого серьезного рассмотрения, особенно в наше время, в период широкого использования микрофизиологических приемов анализа нервных и сенсорных процессов и других методов изучения живых структур на клеточном и молекулярном уровнях.

В квантовой физике, как известно, степень искажений, вносимых прибором при исследовании атомных явлений, определяется так называемым соотношением неопределенностей Гейзенберга. Оно гласит $\Delta x \Delta p \geq h$ и означает, что произведение неопределенности в значении координаты частицы (Δx) на неопределенность в значении компоненты импульса (Δp) всегда не меньше, чем величина порядка постоянной Планка h ($6,6 \cdot 10^{-27}$ эрг.сек).

Наиболее общее рассмотрение этой проблемы было дано Нильсом Бором — крупнейшим датским ученым, физиком и философом — в хорошо известном принципе дополнительности, формулирующем свойства объектов микромира в их взаимодействии с макроприборами. Он писал: «Поведение атомных объектов невозможно резко отграничить от их взаимодействия с измерительными приборами, фиксирующими условия, при которых происходят явления.... Данные, полученные при разных условиях опыта, не могут быть отражены единственной картиной: эти данные должны скорее рассматриваться как дополнительные, в том смысле, что только совокупность разных явлений может дать более полное представление о свойствах объекта» [1].

Проводя философский анализ принципа дополнительности, Н. Бор, как известно, обнаруживал известную непоследовательность: подчеркивая в ряде работ материалистическую природу его, в других ставил под сомнение или даже отрицал принципы детерминизма. Это базировалось на принципиально неполной контролируемости взаимодействия прибора с микрочастицей и вероятностном характере предсказаний теории, вытекающей из самих основ квантовой механики. Отсюда делалось неправильное философское заключение о крушении принципа причинности и детерминизма. Так, согласно ранним взглядам В. Гейзенберга (1930), микрообъект выступает в неразрывной связи с прибором или с изучающим его субъектом. Позитивистские концепции и выводы, следующие из такого рассмотрения, нашли, как известно, достаточно широкое развитие в ряде работ зарубежных ученых и связаны с представлением о так называемой «принципиальной ненаблюдаемости». Однако двойственная природа микромира и особенности взаимодействий прибора и объекта, безусловно, не являются пределом познания, а лишь выражают новые, более сложные связи в природе, отражают объективные характеристики явлений, определенную степень неточности наших знаний на уровне относительных истин и не должны создавать иллюзии существования индетерминизма. Совершенно справедливо писал Д. Н. Блохинцев: «Только реакционеры, стремящиеся подорвать веру человечества в свои силы, способны утверждать, будто бы человеческое познание с открытием квантовых закономерностей микромира, пришло к границе своих познавательных способностей». В этой связи уместно вспомнить историю «исчезновения материи», рассмотренную в «Материализме и эмпириокритицизме» В. И. Ленина и напоминающую то, что позже произошло в физике и с понятием причинности, которая, безусловно, продолжает существовать независимо от характера тех или иных физических представлений, однако модифицируясь, порой внешне скрываясь и выступая в разных своих формах. Действительно, весь объективный ход развития современной физики отвергает позитивистские концепции, подтверждая незыблемые позиции диалектического материализма. Блестящие открытия энергетических уровней атомов, их тонкой и сверхтонкой структуры, открытие в наше время большого числа новых элементарных частиц являются блестящим подтверждением возможности познания микромира. Они же опровергают всевозможные домыслы о непознаваемости мира в силу неких принципиальных ограничений.

В работах последнего периода своей жизни Н. Бор неоднократно обращался к биологическим проблемам. Им, в частности, был впервые поставлен вопрос о распространении принципа дополнительности на биологические и психологические явления. Характерно, что в этих работах красной линией развивается абсолютизация принципа дополнительности, что заставляет нас с известной осторожностью относиться к этим высказываниям.

Но в чем главное отличие между физическим и биологическим экспериментом по Бору? Существование самой жизни он рассматривал как ос-

новной постулат биологии, исключающий дальнейший анализ. Фундаментальные различия между физическими и биологическими исследованиями по Бору означают, что нельзя четко определить предел применимости физических идей к проблемам жизни — предел, которому соответствовала бы в атомной механике граница между областью причинного механического описания и собственно квантовыми явлениями. Важнейшие характерные особенности живых существ Н. Бор предлагал искать в их своеобразной организации, в которой свойства, поддающиеся анализу на основе обычной механики, переплетаются с типично атомными чертами.

Как уже было сказано выше, именно Н. Бор впервые выдвинул идею о возможности распространения принципа дополнительности на биологические явления. Он писал, что пересмотр основ механики необходим не только для полного понимания положения в атомной физике, но и создает новые предпосылки для дискуссии о проблемах жизни в их связи с физикой, подчеркивая, что дополнительный способ описания столь же важен для нашего отчета о поведении живых организмов, как и для объяснения специфических качеств органической материи. Н. Бор связывает этот вопрос с принципиальной невозможностью познания сущности жизненных процессов, сравнивая это с им же провозглашенной невозможностью построить казуальное описание микроявлений с позиций детерминизма. «Каждая хорошо определенная в смысле атомной физики экспериментальная установка, целью которой является описание отправления живого организма, окажется несовместимой с проявлением жизни» [1]. В этой связи уместно вспомнить, например, великолепные достижения метода радиоактивных изотопов (индикаторов), позволяющего получить ценнейшую информацию о прижизненных особенностях процессов обмена веществ и целый ряд новых тонких методических приемов изучения жизненных процессов, никак не подтверждающих концепцию Н. Бора.

Что касается чисто психических актов, свойственных человеку, то Н. Бор увидел и здесь известную аналогию с принципом дополнительности, откуда вновь были сделаны агностические выводы. «Необходимость вводить в рассмотрение взаимодействие между измерительными приборами и объектом исследования в атомной механике, — говорил Бор, — представляет близкую аналогию со своеобразными трудностями психологического анализа, истекающими из того факта, что духовное содержание неизбежно меняется, если внимание сосредотачивается на какой-нибудь его определенной стороне».

Переходя теперь к более конкретному рассмотрению особенностей биологического эксперимента, следует прежде всего отметить принципиальное различие макроскопического и микроскопического методов. В первом случае физиолог или биофизик оценивает непрерывные интегральные реакции, например, по биотокам мозга — электроэнцефалограмме или по биотокам сетчатки глаза — электроретинограмме. Сюда же могут быть отнесены и условно-рефлекторные реакции. Последние являются статистически усредненными во времени суммарными характе-

риетиками активности большой совокупности нервных клеток или рецепторов. Степень искажений в этих случаях, связанных с накладыванием электродов, посылкой определенных раздражителей и пр., будет весьма малой и не может существенно сказаться на достоверности эксперимента. Более важной в этих случаях, очевидно, может стать величина систематической ошибки самого регистрирующего устройства (например, частотная характеристика усилителя и т. д.), которая может быть легко и до конца скорректирована.

Совершенно иным представляется нам микрофизиологический эксперимент. В этих случаях учет возможных и весьма существенных влияний на объект со стороны метода исследования совершенно обязателен. С одной стороны, это обусловлено соизмеримостью, например, размеров микроэлектрода с габаритами нейронов, с другой — дискретной природой деятельности клеток, функционирующих по принципу «все или ничего» и проявляющих импульсную деятельность. Рассмотрим каждый из этих факторов в отдельности. Соизмеримость диаметра микроэлектрода с размерами нейронов и их элементов приводит к заметному повреждению последних при внутриклеточных отведениях, вследствие механических, химических и других причин. При этом, чем меньшую по объему зону стремится изучить экспериментатор, тем большее повреждение вносится в данную часть клетки: ситуация, напоминающая положение при попытке локализовать электрон коротковолновым излучением в атомной физике. Если теперь к этому прибавить известную трудность локализации кончика микроэлектрода, а также ту погрешность, которая вносится неизбежным электрическим потенциалом электрода (зонда) в структуру исследуемого электрического поля клетки, то в целом создается определенная неточность в результатах эксперимента.

Как мы уже говорили, при анализе микрофизиологических объектов, процессов начинает проявляться принципиально новое качество клеточных актов — их дискретность, прерывность. Его нет или, во всяком случае, оно не обнаруживается при макроскопическом анализе. При микроскопическом же исследовании взаимодействия между прибором и объектом, т. е. обмен тем больше, чем меньше выбранная область и, вообще говоря, регистрируемые результаты соответствуют разным индивидуальным процессам. Если заглянуть глубже, то придется сказать и о тех влияниях, которые вносятся в состояние клетки, скажем, фоторецепторной — при ее локальном световом раздражении, без чего, собственно, нельзя наблюдать и сам факт возбуждения. В этом смысле микрофизиологический эксперимент напоминает физический микроанализ, хотя, конечно, под микрообъектом подразумевается здесь несравнимо большие по размерам элементы. Роль кванта действия, пожалуй, принадлежит тут нервному импульсу (нейрокванту) — неделимой единице нервной деятельности, также накладывающей ограничения на точность исследований, однако являющейся несравненно более конкретным понятием, нежели то понятие сущности жизни, о котором упоминалось выше при рассмотрении взглядов Н. Бора. Таким образом, мы приходим к выводу, что оба вида

нервной деятельности—непрерывная, появляющаяся при отдельных видах активности, и дискретная, проявляющаяся в других случаях*,— только совместно характеризуют физиологический процесс и в известном смысле являются дополнениями друг друга. При этом так же, как и в физике, некоторым физиологическим микрообъектам (в отличие от макроскопических) могут быть присущи нераздельные квантововолновые свойства.

Квантовые закономерности в деятельности центральной нервной системы и сетчатки глаза могут быть прослежены не только при микроскопическом, но также и при макроскопическом поведении таких систем. Весьма характерны в этом смысле наблюдения о том, что память не локализована в определенном месте мозга, а есть функция целой системы и возникшая в этой связи голографическая теория зрительной памяти [2, 4].

Однако голографическая гипотеза, естественно, порождает множество вопросов и среди них в первую очередь вопрос о возможных механизмах образования голограмм в зрительном аппарате и их локализации на каком-то конкретном уровне анализатора. По предположению Прибрама, например, голограмма может возникать на корковом уровне в результате взаимодействия электрических явлений, содействующих возбуждению и торможению, на синапсах со спонтанными колебаниями биоэлектрических потенциалов. Допускается также, что в результате взаимодействий волновых фронтов от соседних нейронов возникает микроструктура постсинаптических явлений, напоминающая голограмму, которая, возможно, как-то записывается на белковых частицах. При этом большую роль в регуляции восстановления зафиксированных образов, как показывают нейрохирургические эксперименты Прибрама, играет височная область коры. Мы можем допустить, что голографический образ виденного изображения создается в зрительной коре как результат интерференции когерентных электрических колебаний, возникающих под действием источников ритмических импульсов, поступающих от ганглиозных клеток сетчатки и создающих потенциальный рельеф в некоторой толще коры с большой плотностью нейронов. Потенциальный рельеф, создаваемый с разрешением, зависящим от плотности корковых нейронов, вызывает появление соответствующего рельефа проводимости в результате перевода электронов в зону проводимости или в центры ловушек. Как показали исследования последнего времени, биологические структуры обладают полупроводниковыми свойствами [2, 5], поэтому допущение такого механизма представляется вероятным. Однако рельеф сопротивлений в коре формирует только «скрытое голографическое изображение»—основу кратковременной зрительной памяти,— которое далее «осаждается» на более глубоких биоструктурах в форме стабильных изменений электрических параметров. Действительное же «психическое изображение» создается в нашем сознании только после восстано-

* Квантовые черты в деятельности мозга впервые подробно рассмотрены в работах член-корр. АН Груз. ССР В. В. Чавчавадзе [4].

ления данного потенциального рельефа некой опорной когерентной волной, необязательно плоской. Роль такой опорной волны могут выполнять организованные активизирующие импульсы, поступающие по командам от структур сознания в зрительную кору из височных ее долей или из подкорковых структур. При этом, поскольку корковые нейроны не обладают собственным зрением и поэтому никогда не смогут увидеть восстановление изображения, остается допустить, что специальные ансамбли корковых нейронов обладают способностью визуализировать голографические изображения в реальные объемные образы, научившись этому в ходе индивидуального развития организма. Для восстановления более скрытых образов, перешедших в долговременную память, соответственно потребуются более мощные импульсы, способные образовать рельеф сопротивлений по коре, который далее может быть визуализирован по ранее описанному механизму.

Следует, наконец, коснуться еще одного особо интересного и деликатного, с точки зрения теории отражения, вопроса: речь идет о степени искажений, вносимых органами чувств и мозгом человека в процесс познания окружающего мира. Действительно, наши органы чувств в сочетании с мозговыми механизмами являются ни чем иным, как биологическими измерительными приборами (датчиками) с микроскопическим входом и макроскопическим выходом. Любой из них в процессе своей деятельности производит сложнейшие измерительные операции, которые в отдельных случаях, как, например, в случае сетчатки, связаны с квантовыми процессами. Поскольку конечным результатом функционирования рецепторов является познание и анализ отдельных свойств и форм движения материи, то допустим вопрос: каковы возможные искажения, неизбежно вносимые в ход познавательных процессов вследствие тех же причин, которые уже рассматривались в первой части статьи? Я думаю, что в этой сфере любая попытка количественной оценки потребовала бы применения соотношения неопределенностей Гейзенберга. Ну, скажем, если бы потребовалось выяснить ошибку на оценку глазом человека положения в пространстве предельно слабого точечного светового источника, излучающего статистически распределенные во времени фотоны с неизбежными флуктуациями. Аналогичная задача могла бы быть поставлена и для слухового анализатора. Замечу здесь, что в теории слуха схожий вопрос был рассмотрен Н. Винером даже несколько раньше открытия соотношения неопределенностей Гейзенбергом. Упоминание об этом можно найти в книге Винера «Я—математик».

Итак, органы чувств человека вносят неизбежные искажения в анализирующие ими же раздражители, ввиду взаимодействия биологического прибора с физическим явлением. Это — одна из физических причин субъективности ощущений, которая как будто никогда не учитывается, однако вовсе не противоречит теории познания. Они, эти искажения, практически крайне малы и нисколько не отрицают объективности воспринимаемых нами сигналов внешнего мира.

Таким образом, мы приходим к выводу, что опасным является как недооценка, так и переоценка принципа дополнительности применительно к исследованию физиологических процессов. Если идеалистическая философия и сейчас пытается взять на вооружение принцип дополнительности, полагая, что существует «свобода воли» у электрона или нейрона, старается доказать, что состояние микрообъекта не есть объективно существующее независимо от прибора, а порождается и создается прибором или актом взаимодействия, то диалектический материализм убедительно рассматривает всеобщую связь и взаимообусловленность явлений, частным случаем которых и является принцип дополнительности с вытекающим из него соотношением неопределенностей, существенным не только для физических, но и физиологических исследований. Вот почему и сегодня столь же актуально звучат слова В. И. Ленина: «Мы не можем представить, выразить, сместить, изобразить движения, не прервав непрерывного, не упростив, не разделив, не омертвив живого» [3]. Этого нельзя забывать, когда речь идет об измерениях в физике или физиологии.

Лаборатория зрительной рецепции
АН АрмССР

Поступило 3.VII 1971 г

Հ. Գ. ԳԵՄԻՐՉՕԳԼՅԱՆ

ՍԱՐԲԸ ԵՎ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅԱՆ ՕՐՅԵԿՏԸ ՖԻԶԻՈԼՈԳԻԱՅՈՒՄ

Ա մ փ ո փ ու մ

Հողվածում նշվում է, որ ֆիզիոլոգիական պրոցեսների ուսումնասիրությունների համար վտանգավոր է լրացուցիչ պրինցիպի ինչպես թերադնահատումը, այնպես էլ գերադնահատումը:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Бор Н. Атомная физика и человеческое познание. 60, 1961.
2. Демирчоглян Г. Г. Применение математических методов в биологии. Сб., 4, 15, 1969.
3. Ленин В. И. Философские тетради, 243, 1947.
4. Чавчанидзе В. В. V Всесоюзный симпозиум по кибернетике Мат-лы симпозиума, Тбилиси, 9, 1970.
5. Rosenberg B. Advances in Rad. Biol. 2, 193, 1966.