

<https://doi.org/10.3176/phys.math.tech.1965.4.01>

В. ХЮТТ

## МЕТОДОЛОГИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ ПРИНЦИПА ДОПОЛНИТЕЛЬНОСТИ

Современная физика выросла в рамках двух великих теорий — теории относительности и квантовой теории, возникновение которых означало глубокий перелом в развитии физики. Возможности этих теорий еще не исчерпаны и развитие их продолжается. Однако учащаются намеки на близость нового перелома в фундаментальных физических представлениях. Будущая физика, как думают многие, должна настолько же отличаться от современной, как эта последняя отличается от классической.

В таких условиях особенно важное значение приобретает правильная методологическая оценка наиболее общих принципов современной физики. Недавно на расширенном заседании Президиума Академии наук СССР также подчеркивалась важность исследования методологических проблем как в естественных, так и в общественных науках [1].

Одна из важнейших методологических проблем в физике связана с принципом дополнителности. Советские философы до сих пор не пришли к единой точке зрения по поводу этого принципа. В посвященной ему обширной литературе можно найти следующие три основных, значительно отличающихся друг от друга взгляда на его сущность.

1. Принцип дополнителности есть порождение позитивистской, субъективно-идеалистической философии и поэтому ему не место ни в физике, ни в философии. Этой точки зрения придерживаются, например, В. Т. Макаров, И. К. Григоринс, А. В. Шугайлин [2-4] и другие. Из зарубежных авторов представителем этого мнения является философ из Германской Демократической Республики Х. Корх [5].

2. Принцип дополнителности является чисто физическим принципом, действительным лишь в качестве «лесов» при построении теории и не допускающим философского обобщения, совместимого с материалистической диалектикой. Эту точку зрения подробно обосновывает московский философ А. Познер [6].

3. Принцип дополнителности, будучи в своей первооснове физическим принципом, допускает ведущее за пределы физики обобщение, так что его можно трактовать как философский методологический принцип. Эту точку зрения защищает у нас главным образом академик В. А. Фок [7]. М. Э. Омеляновский также оценил дополнителность как «шаг к диалектике» [8]. Из зарубежных философов этой точки зрения придерживается Г. Гёрц [9].

Конечно, в пределах каждой из этих трех точек зрения существуют свои оттенки. Можно сказать, что едва ли взгляды двух авторов, представляющих одну и ту же точку зрения, полностью совпадают по всем пунктам.

Целью автора настоящей статьи является высказать несколько соображений в пользу третьей точки зрения. Вместе с тем будет показано, какой именно обобщенный философский смысл можно связать с принципом дополнителности.

Начнем с кратких критических замечаний по поводу первых двух точек зрения. Философы, отрицающие принцип дополнительности не только как философский, но и как физический принцип, видят в нем проявление «физического идеализма». Между тем, сам автор принципа дополнительности Нильс Бор всегда придерживался предельно точных формулировок, не допускающих произвольных толкований. Обычно представители первой точки зрения ссылаются не столько на Бора, сколько на других физиков, формулирующих и толкующих принцип дополнительности в желаемом для них направлении. Так, например, В. Т. Макаров на протяжении более чем двадцати страниц критикует «позитивистскую теорию дополнительности», но не приводит ни одной ссылки на высказывания самого Бора, опровергая вместо этого такую, например, формулировку В. Гейзенберга: «Пространственно-временное описание процессов, с одной стороны, и классический закон причинности — с другой, представляют дополнительные, исключаящие друг друга черты физических процессов» ([2], стр. 115). В сочетании с другими высказываниями того же автора, а также П. Иордана и других, эта формулировка трактуется как отказ от причинности, от объективной реальности микрообъектов и т. д. Ясно, что таким путем легко прийти к отрицанию физического принципа дополнительности.

Вторая точка зрения признает допустимость принципа дополнительности только в рамках самой физики, отрицая его общепhilosophический смысл. Нам кажется, однако, что любой принцип, играющий достаточно большую роль в физике, тем самым приобретает и философское значение. Это вытекает из того, что вся физика как целое чрезвычайно существенна для философии. Без физики (в совокупности с другими специальными науками) материалистическая философия была бы вообще немислима. Представляется принципиально неверной любая попытка тем или иным способом отгородить физику от философии. Их взаимопроникновение чрезвычайно обогащает обе стороны, способствуя раскрытию наиболее глубокого смысла физических и философских истин. Поэтому и принцип дополнительности, как один из крупнейших принципов физики, неразрывно связанный с развитием квантовой механики, должен иметь определенный философский смысл и допускать надлежащее обобщение. Нашей целью и является освещение некоторых новых, как нам кажется, аспектов этой точки зрения.

В своей формулировке принципа дополнительности Бор постоянно подчеркивает неизбежную необходимость пользоваться при описании явлений микромира языком классической физики, так как любой регистрирующий их прибор является макроскопическим. Но так как микрообъект законам классической физики не подчиняется (что выражается в некоммутативности операторов, соответствующих классическим наблюдаемым), то в зависимости от типа экспериментальной установки мы получаем классически противоречивые описания. Они и называются у Бора дополнительными. Они дополняют друг друга в том смысле, что в своей совокупности исчерпывают всю доступную информацию о микрообъекте. Приведем для точности подлинную цитату из последней статьи Н. Бора, опубликованной уже после смерти автора его сыном О. Бором: «... невозможность объединения наблюдаемых в разных условиях опыта явлений в одну единственную классическую картину ведет к рассмотрению таких по видимости противоречивых явлений как дополнительных в том смысле, что они — взятые совместно — исчерпывают все доступные определению сведения об атомных объектах» ([10], стр. 725).

Легко заметить, что в боровской формулировке принципа дополнительности существенную роль играет подчеркивание необходимости при-

менения в квантовой механике понятий классической физики. Этот пункт является в то же время наиболее уязвимым с философской точки зрения. Можно с полным правом усомниться, не означает ли требование сохранения в любом случае классичности описания опасности для будущего развития физики [11]. Тенденция к абсолютизации классического языка является поэтому определенным дефектом боровской формулировки принципа дополнительности. На этот дефект впервые обратил внимание академик В. А. Фок. Бор подчеркивает возможность описания нового в старых понятиях дополнительным образом, оставляя в тени возможности описания его при помощи новых, квантовых понятий. Поэтому оправдана критика идеи дополнительности как такой философской концепции, которая осуществляет разрыв противоположностей и их внешнее рядомположение вместо характерного для диалектики взаимоперехода противоположностей и их диалектического единства (см. [6]). О том, что Бор стал именно на такой, философски неудовлетворительный путь, свидетельствует его известное изречение: «противоположности не противоречат, а дополняют друг друга».

Парадоксальность ситуации заключается в том, что боровская («классическая») формулировка принципа дополнительности противоречит общей идее дополнительности. Действительно, основополагающей методологической установкой Бора, пронизывающей и фундирующей все его творчество, является требование целостного и логически непротиворечивого понимания физической реальности с единой точки зрения. Л. Розенфельд отмечает, что Бор «был чуток ко всем сигналам природы, стремясь слить их в единую картину» [12]. И в другом месте: «Эта нарочитая тенденция к гармоническому сочетанию разнообразных элементов, представляющихся с первого взгляда противоречивыми, преобладает во всей научной деятельности Бора» ([12], стр. 8).

На этой основе общая идея дополнительности возникла у Бора задолго до ее конкретизации в виде принципа дополнительности в 1927 г. Так, Л. Розенфельд отмечает: «С самого начала общий подход Бора уже содержал «дополнительный» способ мышления» ([12], стр. 10). Далее Л. Розенфельд приводит характерную цитату из лекций Бора 1913 г.: «Именно подчеркивание этого контраста (между классическими и квантовыми свойствами. — В. Х.), быть может, даст возможность с течением времени также и в новых идеях прийти к определенной согласованности». Таким образом, общее понятие дополнительности у самого Бора выражает требование согласованного понимания новых идей, в результате исследования противоположностей в их противоречивом соотношении. Это находится в прекрасном соответствии с материалистической диалектикой, но в то же время противоречит «классической» формулировке принципа дополнительности, где как раз новые, адекватные новым идеям понятия отступают на задний план.

Правда, Бор указывает, что полное исключение логических противоречий и единое понимание достигается в математическом аппарате квантовой механики (см. [10], стр. 726 слева). Но он просто ограничивается указанием на абстрактно-математическую форму, в которой осуществляется синтез, не анализируя нового понятийного содержания. Он останавливается как раз перед тем, что В. И. Ленин характеризовал как «дело философии» — «охватить, указать, оправдать определенные понятия» [13]. Недостаток Бора состоит в том, что при анализе квантовомеханических ситуаций он ограничивается только выяснением логической непротиворечивости теории: «все, что мы можем требовать в этой новой области физических фактов — это устранение всякого, даже

кажущегося, противоречия» [14]. Характерно, что свою общую идею дополнительности Бор, как указано выше, сформулировал в виде требования, т. е. в логическом плане. Следовательно, общее философское содержание идеи дополнительности еще предстоит раскрыть.

Основой проблемы является именно ее онтологическая сторона — все особенности квантомеханического описания реальности (в том числе и обоснованная Бором — хотя и недостаточно — необходимость применения классических понятий) должны найти свое рациональное обоснование в особенностях объекта квантовой механики, в специфических свойствах нового вида физической реальности, открытого квантовой механикой. Выяснение этих онтологических предпосылок приводит к необходимости переформулировки самого физического принципа дополнительности.

Отправным пунктом является малозаметный факт неоднородности дополнительных систем понятий в каждом конкретном случае. Рассмотрим известный мысленный эксперимент прохождения микрочастицы сквозь экран с двумя щелями (см. [15]). Дополнительность в данном случае состоит в том, что, в зависимости от условий опыта, мы пользуемся или волновой, или корпускулярной картинами для описания дуалистического характера свойств атомного объекта. Оба описания являются предельными классическими абстракциями и неадекватны каждая «сама по себе» (ведь микрочастица обладает в общем случае и корпускулярными, и волновыми свойствами одновременно). Но можно заметить следующее: тогда как корпускулярная картина целиком «классична», волновой аспект при применении его к движению индивидуального объекта выражает новые, специфические квантовые свойства. Поэтому в классическом по форме волновом аспекте скрыто новое, квантовомеханическое содержание, которое как бы «просвечивает» сквозь старую форму. Намек на этот факт можно усмотреть в замечании Бора о «дифракции плоской волны на щели, дающей символическое представление ее (волны. — В. Х.) состояния» [16]. Здесь подчеркивается, что сам по себе классический волновой аспект (диффракционная картина на экране) «символически», т. е. неадекватно отражает квантовое свойство состояния индивидуального микрочастицы.

Предыдущее положение может служить направляющим моментом в поисках адекватной формулировки принципа дополнительности, но основным и решающим является факт уникального соотношения квантовой механики с классической механикой — классическая механика, в противоположность широко распространенному мнению, не является предельным случаем квантовой механики в обычном смысле. Действительно, «формулировка... основных положений квантовой механики принципиально (подчеркнуто мною. — В. Х.) невозможна без привлечения механики классической» ([17], стр. 15). Поэтому, во-первых, квантовая механика, как более общая теория, не может быть, однако, сформулирована независимо от менее общей теории — классической механики, ибо последняя является ее неустранимой основой. Во-вторых, квантовая механика не сводится при предельном переходе полностью к своему частному случаю — классической механике. Действительно, «просто неверно, что при  $\hbar \rightarrow 0$   $\Psi$ -функция в гильбертовом пространстве переходит в точку в классическом пространстве» ([18], стр. В542 слева), а уравнение Шредингера — в классическое уравнение Гамильтона-Якоби. В последнем случае уравнение Шредингера распадается на два независимых уравнения, второе из которых не имеет непосредственного физического смысла в классической физике (см. [17], стр. 74).

Выражением такого уникального соотношения теории является определенная особенность их предметных областей. Необходимость различения объекта и предмета теории служит методологическим исходным пунктом понимания основ принципа дополтельности в квантовой механике. Как известно, в предмете науки объект исследования отражается с точки зрения его функциональных особенностей, в зависимости от конкретных задач исследования. Классическая механика описывает реальность при помощи движения материальных точек и их систем, а квантовая механика — с точки зрения «механического поведения» другого абстрактного образования, которое можно обозначить термином «абстрактный квантовый объект». Последний является элементом предметной области квантовой механики, отражающим корпускулярно-волновые свойства реального микрообъекта, и может быть наглядно представлен дополненными в вышеуказанном смысле классическими моделями.

Решающим является тот факт, что реальный микрообъект в определенных условиях может вести себя вполне «классическим» образом (например, в камере Вильсона). Это соответствует отражению его в предмете науки в качестве материальной точки. Формальным критерием того, что абстрактный квантовый объект теряет волновые свойства и переходит в предметную область классической механики, является равенство нулю кванта действия. Наоборот, если величина выражения  $\frac{mv^2}{\omega}$  \* для материальной точки будет сравнима с квантом действия, то последняя начнет проявлять «квантовые» свойства (см. [19], стр. 214, прим.), что соответствует переходу в предметную область квантовой механики. Таким образом, реальный микрообъект может отражаться с точки зрения его функциональных свойств и как материальная точка, и как абстрактный квантовый объект, переходя из одной предметной области в другую. Указанное реальное единство объекта исследования ведет к частичному «наложению» (нетождественному совпадению) предметных областей наук. При своем «наложении» эти области отличаются, однако, по функциональным особенностям поведения объекта с точки зрения той или иной теоретической системы. Этим объясняется тот факт, что «в современной квантовой механике мы изучаем объективные закономерности, для которых определяющими, коренными материальными связями являются связи между микросистемами и макрочреждением» [20] и обосновывается необходимость в определенном смысле классического описания.

Необходимость целостного описания возникающей ситуации требует нового понимания принципа дополтельности: ввиду специфичности предметной области квантовой механики, адекватное и исчерпывающее описание физической реальности требует применения двух систем понятий — классической и квантово-механической, — находящихся между собой в специфическом отношении «дополтельности». Это отношение характеризуется следующими чертами: а) обе системы относятся к одному и тому же объекту исследования, но функционально характеризуют его с различных точек зрения. Ситуация аналогична изложенной в докладе Э. Г. Юдина и В. А. Лефевра — каждая из этих систем «описывает какую-либо определенную систему связей. В каждом из этих системных представлений имеются свойственные только ему единицы анализа. В других системных представлениях эти единицы «не работают»» (см. [21]); в целях непротиворечивого перехода от одной системы к другой необходимо построение конфигуратора (см. [21]), в ка-

\*  $m$  — масса,  $v$  — скорость,  $\omega$  — ускорение частицы.

честве которого выступает интерпретация квантовой механики как единая последовательная теоретическая система (см. [22]), причем диалектика квантовых и классических противоположностей синтезирована в противоречивой сущности основополагающих понятий квантовой механики (новый вид физических величин, оператор, волновая функция и т. д.).

Фундаментальной особенностью нового понимания принципа дополнителности в квантовой механике является подразумеваемая возможность логически непротиворечивого и адекватного понимания новых квантово-механических свойств физической реальности с точки зрения единой теории, являющейся так наз. «конфигуратором» (там же) двух систем понятий — квантовой и классической. Таким конфигуратором, по нашему мнению, должна служить интерпретация квантовой механики, построенная как целостная система по известному методу восхождения от абстрактного к конкретному К. Маркса.

Теперь становится возможным последующее философское обобщение принципа дополнителности. Исходные пункты здесь таковы: во-первых, понятие дополнителности должно находиться в некоторой связи с общим понятием диалектики. Это интуитивно понимал Н. Бор, о чем свидетельствуют его попытки распространения «дополнительного метода мышления» на другие науки. Несостоятельность этих попыток следует, в частности, из того, что Бор не сформулировал идею дополнителности в общем философском виде и, следовательно, не сумел связать ее с определенной стороной или моментом объективной диалектики. Между тем, такая возможность должна лежать в основе того, что «дополнителность» допускает какое-либо философское обобщение вообще. Во-вторых, следовательно, «дополнителность» как момент диалектики в скрытом, невыявленном виде в зародыше должна наблюдаться в историко-философском развитии мышления вообще. В частности, специфические черты дополнителности в ее основах должны содержаться в трудах основателей материалистической диалектики. Бором понятие дополнителности было выявлено в виде логического требования и определенно конкретизировано в качестве принципа дополнителности.

Следовательно, необходимо найти такую частную проблему диалектики, конкретизированным и специализированным видом которой является понятие дополнителности. Анализ нового понимания физической дополнителности позволяет, как нам кажется, вполне определенно выделить эту проблему, и тем самым, сформулировать общую идею дополнителности. Общая идея дополнителности есть специализированное гносеологическое отражение философской проблемы несводимости качественно разнородных форм движения материи в процессе познания их с единой точки зрения (т. е. с точки зрения единства форм движения материи).

Гносеологическая специализированность заключается в наличии двух систем внешне противоречивых понятий, одна из которых отражает особенности более глубокой формы движения материи. Конкретизация проблемы несводимости форм движения материи состоит в том, что рассматриваются только непосредственно примыкающие друг к другу формы движения материи, когда одна из них как бы «вырастает» из другой.

При ситуациях, аналогичных квантово-механической, т. е. в тех случаях, когда объектом исследования является пограничная область двух качественно различных «уровней реальности» (например, в биологии — проблема сущности жизни), возможно аналогичное решение проблемы.

Решающим является нахождение такого «элемента (или элементов) реальности», который, обладая свойством целостности, в одно и то же время принадлежит обоим «уровням реальности», но полностью не исчерпывается системами понятий каждого уровня в отдельности.

Анализ тождества в этой «клеточке» качественно различных функциональных свойств одного и того же объекта должен быть положен в основу теоретически-целостного понимания проблемы (в основу построения соответствующего «конфигуратора»).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Методологические проблемы науки (Материалы заседания Президиума АН СССР от 18 октября 1963 г.), М., 1964.
2. Макаров С. Т., О позитивистской сущности так называемой теории дополтельности, Уч. зап. Высш. парт. школы при ЦК КПСС, вып. 2, 101—122 (1960).
3. Григоринс И. К., Проблема реальности в современной физике и критика «физического идеализма» (автореферат диссертации), Изд. Высш. парт. школы при ЦК КПСС и Акад. обществ. наук, М., 1960.
4. Шугайлин А. В., Борьба материализма с идеализмом в квантовой механике, Изд. Киевск. гос. ун-та, 1963, стр. 36—42.
5. Korch H., Zur Kritik des physikalischen Idealismus C. F. v. Weizsäckers, Berlin, 1959, S. 82—85.
6. Познер А., Дополнительности принцип. Философская энциклопедия, т. 2, М., 1962, стр. 52—53.
7. Фок В. А., Дискуссия с Нильсом Бором, Вopr. философии, № 8, 52 (1964); Методологические проблемы науки, М., 1964, стр. 234—235.
8. Omeļjanowski M. E., Das Realitätsproblem in der Quantenphysik, Dtsch. Z. für Philosophie, 8, Nr. 3, 280 (1960).
9. Högz H., Atome-Kausalität-Quantensprünge, Berlin, 1964, S. 61—63, 190—192, 206.
10. Bohr N., Licht und Leben — noch einmal, Naturwissenschaften, 50, Nr. 24 (1963).
11. Current Issues in the Philosophy of Science, New York, 1961, p. 371 и далее.
12. Розенфельд Л., Нильс Бор, Вопросы истории естествознания и техники, вып. 17, 1964.
13. Ленин В. И., Конспект книги Гегеля «Наука логики», Соч., т. 38, стр. 107.
14. Бор Н., Атомная физика и человеческое познание, М., 1961, стр. 124.
15. Бор Н., Дискуссия с Эйнштейном о теоретико-познавательных проблемах в атомной физике, Философские вопросы современной физики, М., 1959, стр. 177—222.
16. Bohr N., Phys. Rev., 48, No. 8, 697 (1935).
17. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М., Квантовая механика, М., 1963.
18. Comar A., Phys. Rev., 133, No. 28 (1964).
19. Фок В. А., Об интерпретации квантовой механики, Философские проблемы современного естествознания, М., 1959.
20. Бом Д., Квантовая теория, М., 1961, стр. 718 (прим. С. В. Вонсовского).
21. Юдин Э. Г., Лефевр В. А., Вopr. философии, № 1, 160 (1964).
22. Хютт В. П., Абсолютность и относительность в интерпретации квантовой механики, Уч. зап. Тартуск. гос. ун-та, вып. 165, Тр. по философии, IX, 1965.

Тартуский государственный университет

Поступила в редакцию  
10/II 1965

V. HCTT

#### KOMPLEMENTAARSUSPRINTSIIBI METODOLOGILINE TÄHTSUS

N. Bohri komplementaarsusprintsii vaadeldakse kui üht üldise komplementaarsus-idee (ÜKI) väljendusmomenti. ÜKI formuleeris N. Bohr klassikaliste ja kvantomaduste vaheliste vastuolude uurimise tulemusena kui loogilise nõude füüsikalise reaalsuse omaduste mõistmiseks mikromaailma tasemel. See nõue leidis kehastuse kahes füüsikalise

uurimise metodoloogilises printsiibis — vastavusprintsiibis ja Bohri komplementaarsusprintsiibis. On näidatud, et ÜKI arendamine viib loogiliselt uue komplementaarsusprintsiibi formuleerimisele. Nimelt nõuab mikromaailma tasemel füüsilise reaalsuse adekvaatne kirjeldamine kahe mõistete süsteemi — klassikalise ja kvantfüüsilise — kasutamist, kusjuures nende süsteemide vahel valitseb komplementaarsussuhe: mõlemad süsteemid tegelevad ühe ja sama uurimisobjektiga, kuid iseloomustavad seda funktsionaalselt erinevalt. Süsteemide näiv loogiline vasturääkivus kõrvaldatakse nende konfiguratori konstrueerimise, s. o. kvantmehaanika tõlgenduse konstrueerimise teel. ÜKI ühendab nimetatud kolm printsiipi ja määratletakse kui mateeria liikumise kvalitatiivselt erinevate vormide taandumatuse probleemi gnoseoloogiline väljendus (nende kirjeldamisel ühtsuse aspektist).

V. HUTT

#### METHODOLOGICAL SIGNIFICANCE OF THE COMPLEMENTARITY PRINCIPLE

N. Bohr's complementarity is considered as a manifestation of the General Idea of Complementarity (G.I.C.). G.I.C. was formulated by N. Bohr in the form of logical rule for understanding the microlevel of physical reality by accentuating the contrast between the classical and quantum-mechanical properties of physical phenomena. This logical rule is embodied in the two methodological principles: the Correspondence principle and the Complementarity principle. It is shown that with the development of G.I.C. it is necessary to formulate a new complementarity principle: adequate description of microphysical reality demands an application of two systems of concepts — the classical and the quantum one. Both systems belong to the same object, but characterize this object in a functionally different way. The apparent logical inconsistency of the systems is eliminated by designing their configurator, i.e. the interpretation of quantum mechanics as a theoretical system. G.I.C. unifies the three above-mentioned principles. G.I.C. is defined as an epistemological manifestation of the problem of irreducibility of qualitatively different forms of movement of matter if we describe these forms from the viewpoint of their unity.