Мушич-Громыко В.Г.
Новосибирский государственный университет экономики и управления

ПРИНЦИП ДОПОЛНИТЕЛЬНОСТИ Н. БОРА В ЕГО ПРИМЕНЕНИИ К ГЕОМЕТРИЧЕСКИМ ОБЪЕКТАМ

Автор статьи предлагает некоторые размышления, касающиеся вопроса существования в классических областях познания таких ситуаций, которые могут разрешаться с помощью тех представлений, что выработала квантовая механика.

Принцип дополнительности Н. Бора возник для того, чтобы разрешить дуальность такого объекта, как электрон, когда он в одних экспериментах ведет себя как волна, а в других – как частица. Для разрешения противоречия этих двух понятий, имеющих одновременное отношение к одному и тому же объекту (электрону, к примеру), был создан специальный математический аппарат (с особенными абстракциями), с помощью которого удается устранять эту дуальность.

Особенностями принципа дополнительности являются: а) то, что он не применим ко всем состояниям объекта, а только к тем его состояниям, когда происходит потеря информации об одной из сопряженных дополнительных измеряемых величин при их измерении; б) то, что в объекте должны существовать две измеряемые величины, с помощью которых описывается объект, но обязательно дополнительных; в) то, что дополнительность выражается потерей информации об одной из измеряемых величин, когда на объект (в квантовой механике это волновая функция или вектор состояния) воздействуют с целью преобразования объекта с помощью одного из парных операторов; г) - то, что прибор с его методологическими возможностями измерения есть один из операторов, причем таких операторов (преобразователей), которые по отношению к одной из измеряемых дополнительных величин нейтральны (безразличны) (то есть такой оператор не замечает, в силу разных причин, одну из измеряемых величин, в результате чего она не регистрируется в эксперименте); д) при других состояниях прибор может замечать сразу обе сопряженные величины, но не может регистрировать их в полноте. Неопределенность регистрации одной величины и другой, благодаря их связности (сопряженности), можно использовать в теоретических изысканиях. Принцип неопределенности Гейзенберга выражает связность этих неопределенностей с указанием на определенность, что их произведение всегда больше постоянной Планка. Чем точнее мы начинаем измерять одну из измеряемых величин (в этом случае параметры прибора становятся все более адекватными параметрам одной из измеряемых величин – т. е. возникает сходность прибора и измеряемой величины по определенному смыслу), тем менее определенной становится при измерении данным прибором вторая величина. В случае полной адекватности прибора к одной из измеряемых величин она при измерении регистрируется совершенно точно, зато вторая величина совсем не регистрируется. Таким образом, можно говорить, что принцип дополнительности «работает» с определенностями, а принцип неопределенности «работает» с неопределенностями.

Исследуемый объект в микромире по отношению к прибору характеризуется двусвязностью (т. е. неопределенностью), которая в определенных ситуациях превращается в односвязность (т. е. определенность). Но одна определенность не решает теоретических проблем. Нужна другая определенность (т. е. нужны сведения о другой измеряемой величине). Две определенности (электрон как корпускула при измерениях; электрон как волна при измерениях) опять создают неопределенность. В результате исследователь имеет: двусвязную неопределенность; две односвязные определенности, вкупе составляющие опять неопределенность. Двусвязная неопределенность характеризуется именно как неопределенность потому, что взаимозависимость атрибутов объекта трудно выявить через закономерность. Насколько, как, почему изменяется вторая измеряемая величина, если мы точнее измеряем первую величину? Насколько и как – это вторичные вопросы. Первым вопросом является вопрос о причине. Причина, видимо, лежит в сопряженности измеряемых величин. Именно сопряженность величин (т. е. их взаимозависимость) так выражена, что вторая величина при точном измерении первой по отношению к прибору становится безразличной прибору, а в целом вся система измеряемых величин (в совокупности по отношению к прибору) занимает некоторое случайное положение. Коррелят этой случайности и следует называть дополнительностью (но не принципом дополнительности). «Конкретный вид, принимаемый случайной функцией (вектором состояния) в результате опыта, может называться реализацией случайной функции. Если над случайной функцией произвести группу опытов, то можно получить группу или «семейство» реализаций этой функции» [1, с. 371]. В квантовой механике образуется два семейства. Одно семейство характеризуется принципом неопределенности, а второе семейство – принципом дополнительности. В характеристиках объекта эти принципы различны, но в то же время едины по отношению к исследуемому объекту. Условно можно называть принцип неопределенности рассеиванием принципа дополнительности.

Обратимся к таким двум сопряженным величинам в квантовой механике, как координата частицы микромира и импульс этой частицы. Если мы представим себе траекторию частицы в виде какой-либо кривой линии в декартовых координатах, то импульс частицы в конкретной точке этой кривой касателен к этой кривой, а направление для измерения координаты перпендикулярно к одной из осей декартовых координат. В результате (в общем случае) угол между направлением импульса частицы и направлением линии, отмечающей координату, будет либо острым, либо тупым. Но в тех случаях, когда направление импульса параллельно одной из координатных осей, угол, о котором мы говорим, будет прямым. Именно при измерении величин в этом состоянии объекта (по отношению к системе координат) и возникает эффект принципа дополнительности.

Систему координат по Декарту условно символически можно принимать за сопряженную пару операторов (преобразователей). В этой «вращающейся» системе (импульс перпендикулярен центробежной или центростремительной силе) совпадение направления действия оператора с импульсом или центростремительной (центробежной) силой создает эффект принципа дополнительности.

Рассмотрим схему (рис. 1). Пусть в этой схеме отрезок (2, 3) символизирует собою импульс, а отрезок (1, 2) – координату частицы. Будем рассматривать отношения отрезков (1, 2) и (2, 3) как отношения понятий «импульс» и «координата», но под необычным углом, через обращение к гуманитарным представлениям.

Предикаты могут объединяться в более сложный предикат, образуя метафору (пример – «бронза мускулов»), а могут и не объединяться. В случае объединения предикатов (бронза, мускулы) их можно представлять направленными по отношению друг к другу под углом. Образование более сложного предиката, следовательно, вполне можно представлять как проецирование одного предиката на другой и сложение их смыслов. Само сложение смыслов, конечно, происходит в голове отдельного субъекта, когда он воображает одно качество – «бронзовости», другое качество – «эластичности мускулов» и складывает их в общее качество. Метафора «бронза мускулов» отличается неопределенностью (в голове каждого субъекта имеется свой вид этой метафоричности). Из таких понятий, как вертикальность и горизонтальность, метафору создать нельзя (нелепо звучит объединение – «горизонтальная вертикаль»). Нельзя создать метафору из понятий импульс, координата. (Нелепо звучит – импульсная координата или координатный импульс, для тех случаев, когда мы имеем пря-

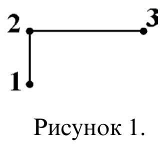


Рисунок 1.

мой угол между импульсом и направлением, отсчитывающим координату. Не нелепо звучат понятия импульсная координата или координатный импульс тогда, когда импульс можно разложить по координатным составляющим. Но тогда мы уже имеем дело с принципом неопределенности. А в первом случае – с принципом дополнительности.)

Пусть мы имеем пару сопряженных понятий, из которых нельзя создать метафору. Это будет означать, что на них распространяется принцип дополнительности, при условии, что операторы «перпендикулярны» к этим понятиям, а сами понятия «перпендикулярны» друг к другу.

В схематическом виде это будет выглядеть следующим образом (рис. 2). Направление линии, отмеряющей координату и направление импульса, мы заменяем (правомочно) операторами $\widehat{A}$ и $\widehat{B}$. А система предикатов будет выглядеть символической фигурой (1, 2, 3). Если теперь мы направим оператор $\widehat{A}$ на функцию отношений двух предикатов, выраженную символом (1, 2, 3), то в результате преобразования возникает образ (2`, 1`, 3`) на оси *X*. При этом один из предикатов (1, 2) в этом новом образе исчезает (метафора не удается; таким преобразованием регистрируется только один из сопряженных предикатов; сопряженность предикатов нужно соотносить с исследуемым объектом). На полученный образ (2`, 1`, 3`) воздействуем вторым оператором $\widehat{B}$ (это будет соответствовать последовательности действий операторов $\widehat{A} \bullet \widehat{B}$ – как в квантовой механике). В результате в точке *O* (пересечение координаты *X* и *Y*) мы получим образ – точку, в которой свернулись наши предикаты до неразличения (но порядок этой свертки внутренним образом сохранился – 2`, 1`, 3`). Теперь меняем порядок действия операторов ($\widehat{B} \bullet \widehat{A}$) и получаем в точке *O* последовательность (2``, 3``, 1``). Видим, что последовательности не совпадают, что дает нам право записать неравенство $\widehat{A} \bullet \widehat{B} \neq \widehat{B} \bullet \widehat{A}$. Это означает: операторы $\widehat{A}$ и $\widehat{B}$ не коммутируют друг с другом, а предикаты (1, 2) и (2, 3) являются дополнительными друг к другу; при воздействии на систему (1, 2, 3) оператором $\widehat{A}$ пропадает в результате такого измерения (всякое измерение – это преобразование объекта к чему-то иному; т. е. знание не совпадает с «вещью в себе») предикат (1, 2). При «измерении» системы (1, 2, 3) предикатом $\widehat{B}$ исчезает информация о предикате (2, 3) – он «проецируется» в точку (2``, 3``).

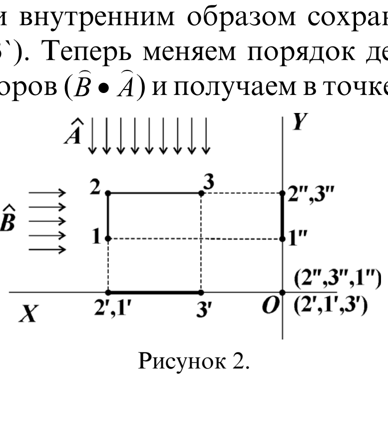
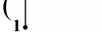
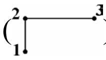


Рисунок 2.

При таком раскладе дел (когда предикаты «перпендикулярны» друг к другу; когда они не могут образовывать более сложный предикат; когда операторы «перпендикулярны» к предикатам; когда при взаимодействии системы, составленной из дополнительных предикатов, с предикатами, выполняющими функции операторов, пропадает информация; когда исследуемый объект репрезентируется дуальным образом) всегда встает проблема адекватного объяснения или описания изучаемого объекта. В этом случае нам необходимо обратиться к определению понятия «принцип дополнительности». Данная задача составляет известную сложность (потому что в философской литературе уже сложился определенный стереотип понимания этого принципа). Но с учетом того, что мы изложили на страницах этой статьи, определение принципа дополнительности должно звучать следующим образом: смысл принципа дополнительности заключается в нахождении теоретических (чаще парадигмальных) условий, благодаря которым удается адекватно объяснять исследуемый объект через опору на его противоречивые репрезентации, на особый строй и композицию некоторых абстракций, но опять же при условии, что измеряемые величины (предикаты), с помощью которых объясняется объект, являются сопряженными и дополнительными, а операторы, им соответствующие, – не коммутирующими.

Обратимся к некоторым конкретным примерам. Если символ () принадлежит некоторому техническому изделию, которое раз за разом проецируется в ортогональной системе координат, то там постоянно будут возникать эффекты принципа дополнительности. Эффект дуальности противоречивых проекций будет разрешаться созданием парадигмы в имени – начертательная геометрия. «Волновой» функцией при этом будет являться для каждого изделия в отдельности, вероятности распределения, вероятности комбинаций символа () на графических изображениях, связанные с конструкторским замыслом и решением. Это распределение будет подобно прохождению электрона через одну щель или через две щели в экспериментах. Т. е. замысел и решения сами по себе будут создавать волновой эффект, а принципы, благодаря которым удаются решения, будут выражать дискретность. Принципы (т. е. способы проецирования) на разнородном материале технических решений представляют нечто такое, что колеблется, но в строго ограниченных параметрах. Сами технические решения есть волна, восходящая к корпускулярно-волновому дуализму уже непосредственно социальной сферы. Технические решения многоплановы, многообразны, но набор принципов, благодаря которым удаются решения, – ограничен. Именно эту ограниченность нужно принять за универсальность (определенность), а за неопределенность (волну) – принятие решений. Самым универсальным объектом является точка, которая способна к делению и умножению (т. е. сложению).

У В.В. Шлыкова [2], а также нечто подобное у В.Г. Болтянского [3], можно прочитать: «Любая физическая модель многогранника характеризуется изоморфностью и простотой восприятия, а следовательно, обладает наглядностью, что и определяет правомерность использования их в процессе изучения геометрии. Вместе с тем необходимым условием успешного изучения геометрии является использование графического моделирования. При этом следует заметить, что графические модели пространственных фигур не обладают простотой восприятия, которая присуща физическим моделям. Трудность чтения графической модели пространственной фигуры определяется тем, что она выступает одновременно в двух качествах: как плоская геометрическая фигура и как изображение пространственной фигуры с помощью тех же линий». В данном тексте нас привлекла дуальность композиции линий: с одной стороны, это просто пересечение линий на плоскости бумаги; с другой – это выход в объемную сферу представлений. Простота восприятия физической модели, на наш взгляд, определяется оперативными возможностями манипулирования этой моделью (ее можно как угодно поворачивать). Но каждый поворот, с фиксацией взгляда на этой позиции модели, – есть проекция. Субъект может быстро создавать множество проекций (умозрительно). Противоречие композиции, линии и объема модели (при манипулировании моделью) по-прежнему сохраняется. Как разрешается эта дуальность? С нашей точки зрения, манипулирование моделью создает эффект «волны» (волна есть множество единичного и неопределенность этого единичного). Множество условных проекций – это тот случай, когда субъект поворачивает модель таким образом, чтобы вероятность положений модели вскрывала закономерность ее строения. Переходя к модели и манипулированию ею, субъект отстраняется от статичности графического изображения (которое символизирует собой точечность) и переходит к ситуации, когда эта «точечность» в динамике создает эффект волны. Следовательно, противоречие плоскостного и объемного в восприятии графического изображения устраняется динамикой этого объемного (либо манипулирование моделью – для неразвитого пространственного мышления; либо манипулирование умозрительное пространственным образом – конструктором, к примеру).

Динамичность модели есть принцип дополнительности. Но где и как пропадает информация? Что можно принять за сопряженную пару, дополнительную пару величин? Что можно принять в качестве операторов? В чем заключается некоммутируемость последних? Мы имеем две репрезентации многогранника: пересечение линий на бумаге; объем, который мы видим. В одной репрезентации пропадает одна измеряемая величина; другая пропадает в другой репрезентации. В плоскостности пропадает объемность (т. е. одно из измерений многогранника, которое перпендикулярно к плоскости листа бумаги). В объемности пропадает плоскостность чертежа (т. е. через две точки многогранника уже нельзя провести линию так, чтобы она лежала в плоскости чертежа – т. е. пропадает именно эта способность). В качестве оператора $\widehat{A}$ принимаем проецирование на плоскость, а в качестве оператора $\widehat{B}$ – построение объемной модели. После действия оператора $\widehat{A}$ мы получаем чертеж. По чертежу осуществляем моделирование (взяли рейки и ими заменили линии чертежа). Такое моделирование производит изъятие плоскости листа бумаги. Поменяем порядок действия операторов ($\widehat{B} \bullet \widehat{A}$). Изготовим сначала из бумаги многогранник, а затем спроецируем его – мы получим чертеж на листе бумаги. Результаты, как видим, получились разными, что означает некоммутируемость операторов. Манипулирование многогранником (поворачивание его в пространстве и рассматривание) – это естественно-природный принцип дополнительности, сформированный практикой человека, становлением его мышления и способности к теоретическому познанию. Такое манипулирование постоянно создает оппозицию плоское – объемное и тут же снимает ее. Сам поворот многогранника снимает эту оппозицию, а остановка поворота вновь создает ситуацию «проецирования» и возникновения оппозиции. Чем же снимается оппозиция при повороте? Она снимается «отрывом» от плоскости, от «чертежа», возвращением к объему модели. Эти переключения есть нечто, что называется пропозицией (мышления). Следовательно, пропозициональность, возведенная в определенную «степень» динамизма, и понимание закономерности этой динамики и создает предпосылки к осуществлению принципа дополнительности. Предикаты «плоские», «объемные» в своих оппозициях, через наглядность этих предикатов, снимают необходимость также вербального формулирования принципа дополнительности – он автоматически возникает как динамическая составляющая мышления в формах наглядности.

Список использованной литературы:

1. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. – М.: Высшая школа, 2002.
2. Шлыков В.В. О построении школьного курса геометрии на основании концепции дополнительности // Адукацыя і выхаванне. – 2000. – №4 (100). – С. 66-71.
3. Болтянский В.Г. Математическая культура и эстетика // Математика в школе. – 1982. – №2. – С. 40-43.
4. Мушич-Громыко В.Г. Принцип дополнительности и его проявления в классической, гуманитарной области познания // Современные гуманитарные исследования. – 2007. – №4, 5, 6, 7, 8, 9. ISSN 1012-9103.