

DOI: 10.22363/2224-7580-2024-2-67-81
EDN: YQKDXC

СЕМАНТИЧЕСКИЕ СЕТИ И НЕДОСТАТОЧНОСТЬ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОПИСАНИЯ НАУЧНЫХ МОДЕЛЕЙ

В.И. Гурьянов*

*Филиал СПбГЭУ в г. Чебоксары
Российская Федерация, 428034, Чувашская Республика,
Чебоксары, Ядринское шоссе, д. 3*

Аннотация. В статье выдвигается и обосновывается следующий тезис: математической модели недостаточно для определения научной модели. Научная модель должна включать в себя концептуальную модель и математическую модель, построенную на основе первой. В качестве концептуальной модели предлагается использовать онтологии, которые в Computer Science используются в качестве представления знаний. Показано, что возможно построение онтологий для моделей современной физики, в частности для моделей квантовой механики.

Ключевые слова: семантические сети, онтологии, концептуальное моделирование, релятивистские эффекты, квантовые эффекты, онтология квантовой механики, философия науки

Введение

Математика была и остается основным инструментом теоретических исследований в точных науках, причем математика в значительной степени долгое время развивалась под потребности физики. Однако во второй половине прошлого века появились новые методы теоретического исследования, такие как системный анализ, общая теория систем, семантические сети. По нашему мнению, эти идеи имеет смысл попробовать применить и в фундаментальной физике, поскольку взгляд на проблему под другим углом, как правило, является продуктивным шагом. Одним из таких направлений является онтологический инжиниринг.

Напомним, что термин «онтология» имеет два значения: (а) в философии, область исследования, отвечающая на вопрос «Что существует в реальности?», (б) в Computer Science – один из способов представления знаний для компьютерной обработки. Мы постараемся не смешивать эти два понятия в последующем изложении.

Понятие фрейма в контексте инженерии знаний было предложено Марвином Минским в 70-е гг. XX в. [1]. Фрейм – это абстрактный образ

* E-mail: vg2007sns@rambler.ru

некоторого объекта, который имеет набор слотов. По мере заполнения слотов фрейм становится все более конкретным, пока не станет фреймом-экземпляром. Этот фрейм-экземпляр будет указывать на конкретный предмет реальности. Фреймы образуют семантическую сеть, которая отображает связи между концептами. Онтология – это фреймовая сеть, имеющая иерархическую структуру. Далее, под онтологией мы будем понимать результат декомпозиции системы на подсистемы, описанный фреймовой сетью.

Основная идея этой статьи заключается в следующем: по нашему мнению, научные модели должны быть дополнены концептуальными моделями, которые будут определять онтологию модели (здесь «онтология» понимается в философском смысле). Именно фреймовые сети очень хорошо подходят для этого. Только после этого по концептуальной модели должна строиться математическая модель.

Далее мы попытаемся обосновать эту точку зрения. Сначала мы продемонстрируем, как строятся онтологии в современной физике. Затем покажем необходимость построения онтологий для научных моделей. Рассмотрим процедуру построения математической модели по концептуальной модели. В заключение отметим значимость философии науки для понимания концептуальных моделей.

1. Краткий обзор языка UML2 SP

В данной статье для представления концептуальных моделей используется язык UML2 SP (UML Scientific Profile) [2]. Этот язык предназначен для разработки имитационных моделей в рамках методологии разработки программного обеспечения Unified Process (UP) [3]. Сильной стороной языка является концептуальное моделирование. В основе концептуальной модели лежит онтология. Мы считаем вполне обоснованным перенос многочисленных наработок Computer Science в сферу инженерии знаний. Поэтому для построения онтологии используются паттерны проектирования, прежде всего «Composite» [4]. Паттерн «Composite» обеспечивает декомпозицию изучаемой системы на подсистемы вплоть до атомарных объектов. Таким образом, концептуальное моделирование в данном случае – это формализация системного подхода.

Онтология состоит из фреймов и отношений между фреймами. Фреймы в UML SP являются элементами языка UML типа «class», которые имеют стереотипы («...») и помеченные значения (tags). Большая часть стереотипов предназначена для декомпозиции. Из помеченных значений отметим только «Concept» и «Category». Помеченное значение «Concept» используется для назначения предметной семантики фреймам, и используют термины словаря предметной области. Помеченное значение «Category» принимает только два значения: Ontology (значение по умолчанию) и Epistemology. Пример фрейма в нотации UML2 SP приведен на рис. 1.



Рис. 1. Фрейм Leaf для описания материальной точки (свойства, такие как инертность, наследуются от фрейма Component)

Атрибуты (слоты) и операции фрейма также имеют стереотипы, поэтому атрибуты и операции имеют помеченные значения и им также необходимо назначать предметную семантику. На диаграммах эти помеченные значения обычно не отображаются, но хранятся в модели.

Отношения между фреймами – это зависимость, наследование, агрегация и композиция. Зависимость – это наиболее общий вид отношений, например использование класса в алгоритмах операций. О наследовании мы скажем подробнее в последующем изложении. Агрегация и композиция – это отношения вида «быть частью», агрегация – компонент, который может быть извлечен или помещен в объект, для композиции этого сделать нельзя.

Кроме диаграмм классов, которые и определяют онтологию, необходимы еще диаграммы коммуникаций. Эти диаграммы описывают порядок обмена сообщениями между объектами (экземплярами классов) и определяют операции классов. Далее, когда мы говорим об алгоритмах, то имеем в виду именно протоколы обмена сообщениями. Собственно говоря, физика определяется именно этими диаграммами. В некотором смысле можно поставить знак равенства между терминами «физический закон» и «протокол».

Для концептуальной модели должно выполняться следующее положение: для каждого элемента модели должен существовать референт в реальности.

2. Концептуальная модель пространства и времени в классической физике

Проблема понимания пространства и времени, безусловно, относится к сфере фундаментальных вопросов физики. Рассмотрим эту тему с точки зрения концептуального моделирования. В данной работе мы будем придерживаться субстанциальной точки зрения на пространство.

Допустим, что необходимо построить концептуальную модель пассажирского поезда, который перемещается из города А в город В. Цель моделирования – регистрация графика движения. Применение паттерна «Composite» позволяет выделить контекст «географический регион», саму систему «поезд, железная дорога», подсистему «пассажирский поезд», атомарные фреймы «локомотив» и «пассажирский вагон». Заметим, что декомпозицию можно было бы продолжить, тогда атомарные фреймы будут другими. Онтология будет иметь вид, как показано на рис. 2.

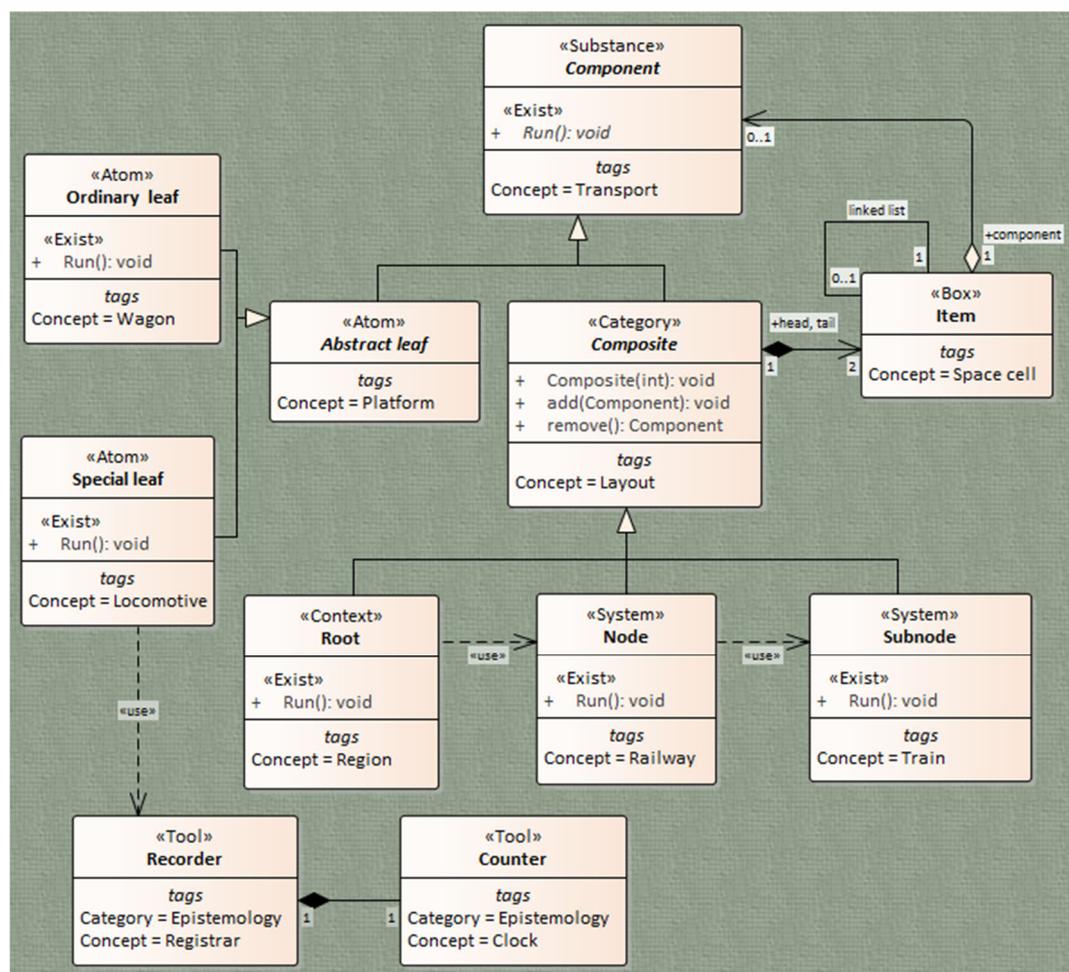


Рис. 2. Онтология концептуальной модели «Восточный экспресс»

Как видно из диаграммы рис. 2, каждая система имеет собственное пространство, поскольку все составные конкретные фреймы являются потомками абстрактного фрейма «Composite». Фрейм «Composite» моделирует одномерное пространство атрибутами head (база), tail (направление) и операции с этим пространством (в данном случае это только операции add (положить) и remove (извлечь)). Фактически пространство является контейнером для объектов. Объекты хранятся в динамическом списке, который собирается из ячеек пространства Item.

К этой модели пространства предъявляется три требования.

1. Алгоритмы не должны зависеть от способа разбиения пространства. В одномерном случае это означает, что алгоритмы не должны зависеть от количества ячеек в динамическом списке.

2. Мы допускаем возможность бесконечного деления ячеек пространства, то есть вводим потенциальную бесконечность вместо актуальной бесконечности в математике.

3. Видимость (возможность послать сообщение). Мы будем полагать, что из контекста видно пространство системы, из системы видно пространство подсистемы.

Если теперь создать имитационную модель, то мы получим древовидную объектную структуру. В контексте достаточно одной ячейки для размещения системы, в системе необходимо как минимум три ячейки для моделирования движения подсистемы, если нет промежуточных пунктов остановки. В подсистеме необходимо некоторое количество ячеек для размещения объектов, моделирующих вагоны, плюс одна ячейка для локомотива. Каждый объект рассматривается в собственной системе отсчета. Подсистема (поезд) рассматривается как материальная точка в пространстве системы.

Уберем теперь из этой конструкции все атомарные объекты. Тогда получим модель пустого пространства. Это не фрактал, это древовидная структура, в которой можно наблюдать эффект масштабирования при переходе от системы к подсистеме и обратно. Таким образом, физическое пространство – это скорее набор отношений вида «система–подсистема». Поскольку это конкретный фрейм, можно создать его экземпляр. На наш взгляд, – это модель физического вакуума в классической механике. Фрейм «Composite», – это абстрактный фрейм, создать экземпляр этого фрейма невозможно. Значит, его нельзя определять как модель физического пространства, которое, как мы допускаем, реально.

Построим математическую модель этой структуры. Из требования инвариантности относительно разбиения пространства вытекает, что координата объекта должна задаваться рациональным числом $x = n/N$, где N – количество ячеек пространства, n – порядковый номер ячейки (в двухмерном случае потребуются вещественные числа). Нетрудно убедиться, что все аксиомы геометрии выполняются. Таким образом, получаем евклидову геометрию для одномерного пространства. Отметим, что координата – это эпистемологическое понятие, так как в алгоритмах это число не используется.

Декомпозиция системы на подсистемы предполагает не только декомпозицию структуры, но и декомпозицию процессов. Каждый конкретный фрейм имеет операцию со стереотипом «Exist», которая моделирует процессы изменения в системе (эта операция наследуется от абстрактного фрейма «Component»). Особенность этой операции – возможность многократного выполнения, то есть процесс обладает свойством атомарности. В этом смысле можно говорить о декомпозиции времени. В объектной структуре этот процесс запускается в контексте и движется к атомарным объектам, а затем

обратно. Так в концептуальной модели моделируется время изменения / развития.

Чтобы регистрировать изменения, необходимо ввести некоторую глобальную переменную. Некий циклический процесс на атомарном уровне должен изменять эту переменную всякий раз по получению сообщения «Exist». Тогда все объекты получают возможность считывать значения этой переменной и вести свои протоколы измерений с привязкой к временным отметкам. Это метрическое время. Значение этой переменной математически может быть описано в форме рациональной переменной t . Опять-таки отметим, что переменная t – это эпистемологическое понятие, так как в алгоритмах переменная не используется.

Заметим, что проблема времени может быть намного сложнее. Дело в том, что последовательное моделирование процессов предполагает связывание процедур с параллельными процессами (threads). Взаимодействие параллельных процессов может быть весьма многообразным. Мы обходим эту проблему, используя паттерн «Single Threaded Execution», который сводит процессы к однопоточному выполнению. Фактически это есть констатация факта, но не объяснение.

Резюмируя все сказанное выше, определим ньютоновское пространство и время как эпистемологические понятия. Это следует учитывать в теоретических построениях, касающихся пространства и времени.

Завершая тему пространства и времени, кратко остановимся на теории относительности. В нашей работе [5] показано, что можно построить онтологии для моделирования релятивистских эффектов. Каждая ячейка пространства имеет собственное время. Пространство-время рассматривается как темпоральная сеть. Процесс, который распространяется по этой сети, синхронизирует локальное время ячеек пространства со временем лабораторной системы отсчета. Представленная модель является полностью нечисловой моделью. Имитационные эксперименты демонстрируют эффекты замедления времени, появление энергии покоя, невозможность достижения скорости света.

Забегая несколько вперед, отметим, что существуют проблемы концептуального моделирования пространства и времени для квантового мира.

3. Концептуальное моделирование квантовых эффектов

В действительности предлагаемый подход в неявном виде присутствует в большинстве научных работ. Как правило, сначала дается описание предмета исследования на естественном языке. После этого формулируется математическая модель. Этот подход оказался неэффективным с появлением квантовой механики, поскольку в естественном языке просто не оказалась подходящих понятий. Многочисленные интерпретации – это попытка подобрать необходимый понятийный аппарат.

Концептуальные модели основных квантовых эффектов предложены в нашей работе [6]. В статье приведены также результаты имитационных

экспериментов, включая проверку неравенства Белла. За основу взята двух-модусная модель реальности, подробно изложенная в книге [7]. В качестве квантовых объектов мы предлагаем рассматривать объекты-классы, в качестве классических объектов – объекты-экземпляры. Объекты-классы отнесем к потенциальному модусу бытия, объекты-экземпляры – к актуальному модусу. Структуру потенциального модуса реальности будем описывать диаграммами классов, структуру актуального модуса – диаграммами коммуникаций. Волновые функции описывают объекты-классы.

Теперь сформулируем следующие исходные положения фреймового описания: а) аналогом коллапса волновой функции будем считать вызов конструктора класса, то есть создание объекта-экземпляра, б) аналогом квантовой суперпозиции будем считать множественное наследование.

Вызов конструктора класса – это сообщение «create» объекту-классу, в результате чего создается объект-экземпляр. Измерение – это некоторое сообщение объекту-экземпляру, возвращаемое значение – результат измерения. Измерение не может быть выполнено до того момента, пока объект-экземпляр не создан. Мы разделяем эти два сообщения, поскольку в природе, скорее всего, декогеренция происходит естественным образом, независимо от того, наблюдаем мы квантовый мир или нет.

Неявно предполагается, что после декогеренции объект-класс превращается в объект-экземпляр, то есть коллапсирует, однако возможно они существуют одновременно, а объект-экземпляр только «появляется» в физическом пространстве. Мы больше склоняемся к последней интерпретации.

Множественное наследование – это наследование атрибутов и операций от нескольких фреймов. В том случае, если эти фреймы имеют одинаковые имена атрибутов или операций, возникает конфликт имен. Мы положим, что этот конфликт разрешается по «квантовому правилу», то есть согласно квадрату модуля амплитуд. Далее мы приведем модель, которая содержит комплексные числа (для упрощения диаграммы), однако сразу заметим, что от комплексных чисел можно избавиться. Для этого достаточно подобрать подходящую объектную структуру. В противном случае мы должны будем признать, что комплексные числа существуют реально.

Приведем пример онтологии, построенной на этих положениях. Онтология для двухщелевого эксперимента показана на рис. 3.

Если сравнить данную диаграмму (рис. 3) с диаграммой предыдущего раздела (рис. 2), то можно увидеть много общего. На наш взгляд, важно, что классические и квантовые модели имеют общую дескрипторную основу. Тем не менее есть и четко выраженные различия. Онтологии для квантовых эффектов всегда содержат пакет альтернатив. В случае двухщелевого эксперимента пакет альтернатив содержит только два фрейма А и В, которые имеют разные операции с одинаковым именем `move_to_x`, они моделируют скачок частицы от источника частиц к точке на экране. В конструкторе фрейма `Mix` конфликт имен разрешается, для этого используются комплексные числа z_1 и z_2 , и выполняется только одна операция. Если операции будут иметь разные имена, например `move_to_x1` и `move_to_x2`, то вся конструкция может быть свернута в один фрейм, и мы получим классический случай.

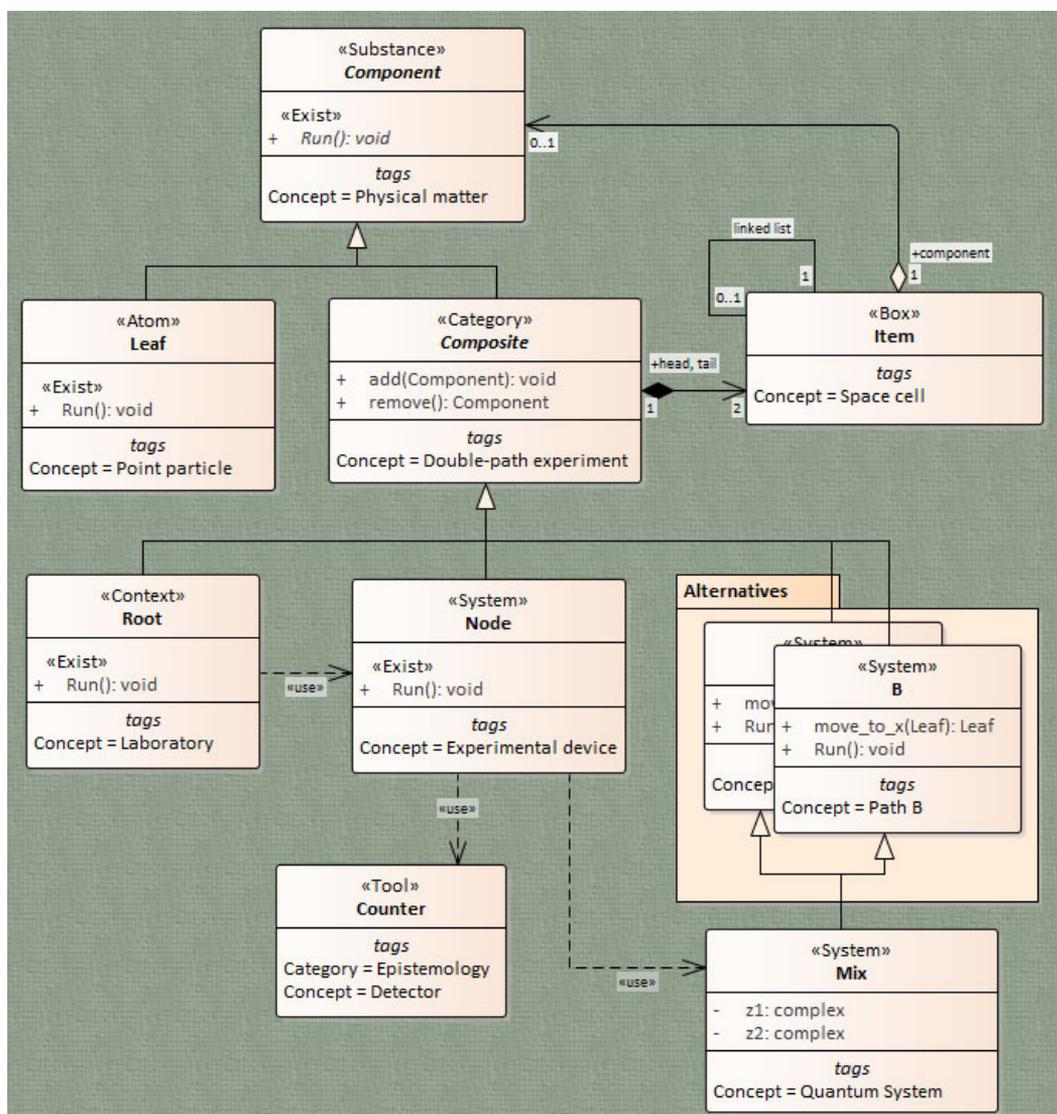


Рис. 3. Онтология концептуальной модели «Двухщелевой эксперимент»

Если совпадают имена атрибутов, то получаем волновую механику Эрвина Шрёдингера, если совпадают имена операций – матричную механику Гейзенберга – Борна. Концептуальную модель всегда можно описать либо в одном, либо в другом представлении.

На всякий случай подчеркнем, это не объяснение квантовой механики, это только способ описания.

Построим математическую модель для количественного описания эксперимента. Пакет альтернатив с фреймом Mix будем описывать как гильбертово пространство с заданным вектором состояния. Квантовая система описывается суперпозицией двух волновых функций

$$|\psi\rangle = A_a |a\rangle + A_b |b\rangle,$$

описывающих скачок по пути А или В. Полагая $A_a = c_a e^{i\varphi_a}$, $A_b = c_b e^{i\varphi_b}$, получим квадрат модуля амплитуды

$$f(x) = c_a^2 + c_b^2 + 2c_a c_b \cos(\varphi),$$

где c_a, c_b – действительные числа, $\varphi = \varphi_a - \varphi_b$ – сдвиг фазы. Эти коэффициенты и фаза зависят от координаты x точки экрана.

Обратимся к вопросу реальности квантовых объектов [8]. Рассмотрим классическую модель рис. 2. Конкретные фреймы имеют референт в идеальной реальности, так как пассажирский состав, дорога, географический регион – все это результат идеализации множества реальных объектов. Даже если мы моделируем конкретный объект, как на рис. 2, это все равно будет объект идеальной реальности. Если мы допустим, что фрейм Мiх рис. 3 тоже идеальный объект, то мы приходим к пси-эпистемологической точки зрения на волновую функцию. И это верно, поскольку объективно существует идеальный образ квантового объекта как элемент субъективной реальности. Однако пси-эпистемологическая точка зрения не раскрывает природу квантового мира.

Мы придерживаемся квантового реализма, то есть считаем, что объекты-классы имеют референт в материальном мире (пси-онтическая точка зрения). Основанием для этого является то, что объекты квантового мира не имеют индивидуальности и нет особенностей, от которых следует абстрагироваться.

Действительно, согласно критерию реальности Я. Хакинга (манипулятивный аргумент) [9], объект реален, если на него можно воздействовать и увидеть результат этого воздействия. Пример – воздействие магнитного поля на квантовую систему в экспериментах с двумя приборами Штерна – Герлаха. Такое воздействие моделируется соответствующим сообщением к объекту-классу. Точно так же моделируется воздействие на объект-экземпляр. Поэтому мы будем считать, что гильбертово пространство (пакет альтернатив) и объект-класс Мiх реально существуют, но не находятся в физическом пространстве.

Отметим, что объекты-классы и объекты-экземпляры – это сущности одной природы. Кроме манипуляции есть и другие сходные признаки. Ход времени для объекта-экземпляра моделируется сообщением со стереотипом «Exist», ход времени для объекта-класса (согласно уравнению Шрёдингера) также моделируется сообщением со стереотипом «Exist». Тем самым объекты-экземпляры и объекты-классы «выглядят» схожим образом – их интерфейсы подобны. Объекты-классы отличаются от объектов-экземпляров тем, что они предназначены для создания объектов, в том числе и объектов-классов. Конструктор можно рассматривать как сообщение, которое возвращает объект-экземпляр в качестве ответа. Но и объекты-экземпляры тогда могут породить объекты: возвращаемые значения – это тоже объекты. Правда, механизмы тут разные. Тем самым основное отличие заключается в том, что эти объекты существуют в разных модусах реальности.

Более глубокий анализ этой и других концептуальных моделей приводит к довольно длинному списку вопросов, ответы на которые пока можно дать только в форме предположений. Приведем некоторые из них.

Какова точка доступа к гильбертову пространству, как эта точка моделируется? Рабочая гипотеза: гильбертово пространство моделируется типом *Map*, и доступ к объектам-классам осуществляется по имени фрейма, точнее, по его материальному аналогу.

На диаграмме рис. 3 видно, что каждая альтернатива имеет свой экземпляр пространства. Как быть с квантовой запутанностью? Рассмотрим пару частиц в запутанном состоянии. Рабочая гипотеза: как только Алиса (или Боб) вызывает декогеренцию, происходит перезапись атрибутов *head* и *tail*. Алиса проводит измерение в ячейке *head*, Боб – в ячейке *tail*, независимо от расстояния.

Так же как и в классическом случае, из квантовой системы можно удалить атомарный объект, но пакет альтернатив оставить. Можно ли такую конструкцию интерпретировать как виртуальную частицу? Рабочая гипотеза: возможно, да.

Рассмотрим классическое механическое движение материальной точки. Построим цепочку событий процедуры «*Exist*» фрейма *Node*. Если наши предположения верны, то материальная действительность реализует себя следующим образом: а) сообщение «*create*» фрейму *Mix* (декогеренция текущего квантового состояния); б) перезапись атрибутов *head*, *tail*; в) измерение положения материальной точки; г) сообщение «*exist*» фрейму *Mix* (изменение волновой функции согласно уравнению Шрёдингера). После этого весь цикл повторяется заново. То есть классический мир является своеобразной «тенью» квантового мира, который здесь является определяющим (это, конечно, метафора). Отметим, что время обоих модусов реальности синхронизировано.

Итак, мы видим, что концептуальное моделирование вполне применимо в такой важной области современной физики, как квантовая теория, хотя оно и порождает множество вопросов в метафизическом плане.

4. Наиболее правдоподобные объяснения

Выше мы показали, что фреймовые сети вполне пригодны для описания научных моделей, включая сферу современной физики. Покажем теперь, что концептуальное моделирование необходимо для определения научных моделей.

Для того чтобы построить математическую модель природного феномена, необходимо некоторое его описание. Недостатком естественного языка является его неоднозначность. Другой недостаток – отсутствие необходимой детализации описания. Чтобы сделать описание достаточно емким, используются различные схемы, рисунки, модели визуализации. Недостатком этого подхода является то, что это работает в каких-то отдельных областях науки. Необходим универсальный язык. Только тогда можно быть уверенным, что такой язык применим и в принципиально новых областях знаний. Таким качеством обладают концептуальные модели, которые сейчас применяются во многих сферах науки и техники, за исключением, быть может, только сферы

точных наук. Причина последнего – феноменальная эффективность математики.

Согласно К. Попперу и Д. Дойчу, научный поиск предполагает выбор наиболее правдоподобного объяснения [10]. Необходимость построения концептуальной модели до создания математической модели следует из того, что первоначально необходимо найти достаточно правдоподобное объяснение природному феномену. Можно сослаться на известный пример гео- и гелиоцентрических моделей Солнечной системы, математика у этих моделей разная. В частности, этот пример показывает, что правильные количественные предсказания не являются гарантией истины.

Рассмотрим еще один пример. Идеи квантовой теории были использованы для построения моделей, далеко выходящих за пределы физики. Продемонстрируем, как концептуальное моделирование помогает оценить корректность такого переноса концепций.

В качестве аналога коллапса волновой функции иногда рассматривают следующую ситуацию. Пусть нам необходимо построить модель выборов президента с двумя кандидатами. В день голосования степень возможности каждого кандидата стать президентом будет изменяться, например, будет осциллировать, если шансы у обоих кандидатов близкие. Наконец, в момент закрытия избирательных участков один из кандидатов становится президентом.

Концептуальная модель для этого случая может быть построена как по схеме рис. 2, так и по схеме рис. 3. Имитационные эксперименты так же дадут одинаковые количественные результаты. Возникает вопрос – какая концептуальная модель является верной? По нашему мнению, модель, по схеме рис. 2, значительно более правдоподобна. В то же время для квантового описания довольно трудно подобрать референты в реальности, хотя это, может быть, и возможно.

Большой интерес представляет построение концептуальных моделей квантовых явлений для различных интерпретаций квантовой механики. Это можно сделать, поскольку UML2 SP – это формальный язык. Возможно, для этого потребуется выбрать другой базовый паттерн вместо «Composite». Например, интегралы по траекториям Р. Фейнмана можно реализовать на основе паттерна проектирования «Decorator» [4].

Итак, приведенные выше рассуждения показывают, что еще до выбора математического аппарата следует выбрать наиболее правдоподобную концептуальную модель. Тем самым концептуальное моделирование является необходимым этапом научного исследования.

5. Концептуальные и математические модели

Как сказано выше, математическая модель должна строиться на основе концептуальной модели. Рассмотрим основные особенности данного процесса.

Сначала рассмотрим обратную задачу – построение концептуальной модели по математической модели. Существует частный, но важный случай,

когда это можно сделать регулярным образом. Этот частный случай – линейные дифференциальные уравнения:

$$a_2 \frac{d^2y}{dx^2} + a_1 \frac{dy}{dx} + a_0y = 0,$$

где a_2, a_1, a_0 – постоянные коэффициенты. Данное уравнение может быть сведено к линейной рекуррентной последовательности (возвратной последовательности):

$$y_n = b_1y_{n-1} + b_2y_{n-2},$$

где b_2, b_1 – постоянные коэффициенты. Для этого достаточно заменить дифференциалы конечными разностями. После этого надо подобрать некий процесс на объектной структуре, который численно будет описываться рекуррентной последовательностью. На последнем шаге необходимо составить для этого процесса диаграмму классов и диаграммы коммуникаций, которые и дадут концептуальную модель.

Покажем, что построение концептуальной модели будет процедурой с неоднозначным результатом.

Первый источник неоднозначности – структура данных. Для одной и той же рекуррентной последовательности можно определить разные объектные структуры. Например, последовательность Фибоначчи ($b_2 = b_1 = 1$) можно реализовать и на динамических списках, и на бинарных деревьях, и на множестве других структур, включая самые экзотические конструкции. Соответственно процессы будут различаться и физика будет тоже разной. В данном случае подразумевается, что измеряемая величина – это количество элементов объектной конструкции. В первоисточнике – это количество кроликов, и такая конкретизация существенно ограничивает выбор объектных конструкций.

Второй источник неоднозначности – это выбор расчетной схемы. В данном случае можно выбрать одну из схем Рунге – Кутты или схему Эйлера. В зависимости от выбора получим разные рекуррентные последовательности и, соответственно, разные процессы, которые определяют разную физику.

Если вернуться к квантовой механике, то именно эти две проблемы возникают в попытке избавиться от комплексных чисел. Выбор расчетной схемы и выбор структуры данных – это все новые допущения о квантовом мире.

Напротив, построение математической модели по концептуальной модели – это однозначная процедура. Каков бы ни был выбор расчетных схем и типов данных, для больших n соответствующее дифференциальное уравнение будет хорошим приближением для описания рассматриваемых процессов.

В общем случае построение математической модели, конечно же, процедура неформальная. Примером этого является использование гильбертова пространства для математического описания пакета альтернатив в предыдущем разделе. Отметим, что остается неясным, как математически описать всю онтологию в целом.

Из приведенного выше примера можно сделать следующий вывод. Математическая модель не дает четкого указания на онтологию модели. Одна и та же математическая модель может описывать множество объектов реальности, что затрудняет определение референтов реальности. Впрочем, это является также сильной стороной математики, поскольку существенно снижает интеллектуальное усилие, необходимое для понимания феномена.

Таким образом, переход от концептуальной модели к математической модели сопровождается потерей знаний об изучаемом объекте. В этом нет ничего удивительного, так как математика работает с математическими абстракциями. Но это может иметь значение для понимания физики природного феномена. Именно это мы имеем в виду, когда утверждаем, что математического описания недостаточно для описания научной модели.

Заключение

Итак, мы утверждаем, что научная модель должна определяться концептуальной и математической моделью. Причем математическая модель должна строиться на основе концептуальной модели. Технически концептуальную модель следует рассматривать как строгое определение переменных математической модели, которое присутствует в научных текстах после ключевых слов «пусть» и «где». По нашему мнению, такое строгое определение является необходимым для тех областей науки, которые выходят за пределы чувственного опыта. Можно также сказать, что концептуальная модель определяет то, что иногда называют «физическим смыслом» математической модели.

В данной работе мы сначала показали, что фреймовые сети пригодны для описания научных моделей, включая модели современной физики. Затем мы показали, что концептуальная модель необходима для определения научной модели, поскольку математической модели недостаточно для надежного определения референтов реальности (то есть онтологии модели). Таким образом, по нашему мнению, отсутствие практики применения концептуальных моделей следует считать возможным пробелом в методологии науки.

Фреймовые сети – это только язык описания реальности. Его семантика определяется метаутверждениями. Поясним это. Онтологию, как и всю концептуальную модель, можно рассматривать как формальную знаковую систему. Для того чтобы придать содержательный смысл такой формальной системе, необходимы некоторые метаутверждения, сформулированные на естественном языке. Поскольку концепты, входящие в онтологию, определены на естественном языке, то они, конечно, отражают эти метаутверждения. Но отражают нечетко, их смысл часто непонятен. Философия науки как раз и способна сформулировать эти метаутверждения в явном виде. Вернемся к модели пассажирского поезда. Внутренняя логика концептуального моделирования приводит к древовидной структуре пространства, похожей на фрактальные структуры. В данном случае требуется набор суждений

о физическом пространстве, которые позволяют соответствующие концепты рассматривать с единой точки зрения.

Тем самым набор концептов должен быть основан на той или иной философской концепции или философской парадигме. В контексте данной статьи хорошим примером такого взаимодействия является двухмодусная модель реальности А.Ю. Севальникова, которая предоставила систему концептов для построения концептуальных моделей квантовых эффектов.

В этом вопросе мы полностью согласны с Д. Дойчем, философия должна предложить целостную систему видения мира, охватывающую как материальную, так и идеальную реальность. По нашему мнению, концептуальное моделирование может стать тем мостом, который свяжет подобные философские системы с естественнонаучными исследованиями.

Литература

1. *Минский М.* Фреймы для представления знаний / пер. с англ. О. Н. Гринбаума; под ред. Ф. М. Кулакова. М.: Энергия, 1979. 151 с.
2. *Гурьянов В. И.* Мета модель языка имитационного моделирования UML2 SP // Седьмая всероссийская научно-практическая конференция «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД-2015): труды конф., 21–23 окт. 2015 г., Москва: в 2 т. / Ин-т проблем упр. им. В. А. Трапезникова Рос. акад. наук; под общ. ред. С. Н. Васильева, Р. М. Юсупова. М.: ИПУ РАН, 2015. Т. 1. С. 59–62.
3. *Ларман К.* Применение UML и шаблонов проектирования. 2-е изд. / пер. с англ. М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. 624 с.
4. *Гамма Э., Хелм Р., Джонсон Р., Влссидес Дж.* Приемы объектно-ориентированного проектирования. Паттерны проектирования. СПб.: Питер, 2001. 368 с.
5. *Gurianov V. I.* Simulation model of spacetime with the Minkowski metric, arXiv:2009.10689 [cs.CE], 2020, preprint, <https://doi.org/10.48550/arXiv.2009.10689>
6. *Gurianov V.* Simulation of Certain Quantum Effects. Cambridge Open Engage, preprint. 2023. <https://doi.org/10.33774/coe-2023-v5sc8>
7. *Севальников А. Ю.* Интерпретации квантовой механики: В поисках новой онтологии. М.: ЛЕНАНД, 2016. 189 с.
8. *Терехович В. Э.* Реальность волновой функции и манипулятивный аргумент // Метафизика. 2019. № 1 (31). С. 155–164.
9. *Хакинг Я.* Представление и вмешательство. Введение в философию естественных наук / пер. с англ. С. Кузнецова; науч. ред. Е. А. Мамчур. М.: Логос 1998. 296 с.
10. *Дойч Д.* Структура реальности. Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. 400 с.

SEMANTIC NETWORKS AND INSUFFICIENCY OF MATHEMATICAL DESCRIPTION OF SCIENTIFIC MODELS

V.I. Gurianov*

*Branch of St. Petersburg State Economic University in Cheboksary
3 Yadrinskoe Shosse, Cheboksary, Chuvash Republic, 428034,
Russian Federation*

Abstract. The article puts forward and substantiates the following thesis. A mathematical model is not sufficient to define a scientific model. A scientific model must include a conceptual model and a mathematical model built on the basis of the first. As a conceptual model, it is proposed to use ontology's, which in Computer Science are used as a representation of knowledge. It is shown that it is possible to construct ontology's for models of modern physics, in particular for models of quantum mechanics.

Keywords: semantic networks, ontology's, conceptual modeling, relativistic effects, quantum effects, ontology of quantum mechanics, philosophy of science

* E-mail: vg2007sns@rambler.ru