

УДК 168.521

DOI: 10.18384/2310-7227-2018-1-141-140-151

РАЗВИТИЕ АКСИОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ В КВАНТОВОЙ МЕХАНИКЕ

Чечеткина И.И.

*Казанский национальный исследовательский технологический университет
420015, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Карла Маркса, д. 68, Российская Федерация*

Аннотация. Статья посвящена проблеме математизации и теоретизации квантовой механики. Рассматривается развитие аксиоматических систем волновой механики с помощью двух подходов. Первый путь – это движение теории внутри самой себя, когда математические средства участвуют в создании формально-логического аппарата аксиоматической системы, способствуя развитию новых понятий квантовой механики. Второй путь заключается во взаимодействии индуктивных понятий квантовой механики (опыта) с аксиоматическими системами (теорией). Доказано, что в квантовой механике априоризм Канта оказывается несостоятельным, поскольку эйдосы конструируются в ней по математическим правилам.

Ключевые слова: философия науки, структурализм, математизация науки, теоретизация науки, операционализм в физике, аксиоматические системы, квантовая механика, создание новых понятий.

THE DEVELOPMENT OF AXIOMATIC SYSTEMS IN QUANTUM MECHANICS

I. Chechetkina

*Kazan National Research Technological University
68, K. Marx st., Kazan, 420015, Republic of Tatarstan, Russian Federation*

Abstract. The article is devoted to the problem of mathematization and theorization of quantum mechanics. Two approaches in the development of axiomatic systems of wave mechanics are considered. The first approach is the movement of the theory within itself, when mathematical tools participate in the creation of the formal logical apparatus of axiomatic system, contributing to the development of new concepts of quantum mechanics. The second approach consists in the interaction of inductive concepts of quantum mechanics (experience) with axiomatic systems (theory). It is proved that in quantum mechanics Kant's apriorism turns out to be untenable, because eidoi are constructed in it according to mathematical rules.

Key words: philosophy of science, structuralism, mathematization of science, theorization of science, operationalism in physics, axiomatic systems, quantum mechanics, creation of new concepts.

Введение

Математизация физического знания привела к триумфу квантовой механики в первой трети XX в. [3]. Физики и математики искали абстрактные операци-

ональные математические средства, которые не имели прообразов в физической реальности, но выступали как способы развития физической теории. Такая задача поиска новых алгебраических средств стоит перед математиками всегда [6], но не всегда, как показывает история науки, приводит к успеху [9].

Успех в микрофизике был связан с новым способом конструирования эйдосов, который, в отличие от науки Нового времени, считавшей, что эйдос предшествует познанию (рационалистическая философия Декарта) или конструируется с помощью интуиций чистого пространства и времени (априоризм Канта), создавался теперь по математическим правилам. На первый план в познании вышли такие математические средства, как некоммутативные операторы, различные топологии, а также теория групп преобразований и их инвариантов. Эти математические средства были внедрены в аксиоматические системы микрофизики, логически выстроили всевозможные формы и свойства физических объектов, стали соотноситься с опытом и, выйдя на логический уровень формулирования новых понятий, подвергли их испытанию на логическую безупречность, чтобы определить экспериментальные критерии своей проверки. Развитие аксиоматических систем микрофизики с помощью математических средств привело к появлению новой науки – квантовой механики.

Философские исследования аксиоматических систем квантовой физики велись М. Бунге, В.А. Фоком, К. Хюбнером, К. Геделем, а также Н. Мулудом. Проблемное поле было задано доста-

точно широко: изучались природа аксиом, способы введения математических средств в аксиомы, соотношение теорий классической и неклассической физики между собой, взаимодействие квантовой теории с экспериментом, исследовались характер аксиоматики квантовой механики и её преимущества (М. Бунге). Обсуждались также назначение математического аппарата квантовой механики, и этапы его развития (В.А. Фок), истинность аксиом квантовой механики их детерминация социально-культурными факторами (К. Хюбнер), рассматривались теоремы о неполноте аксиом и проблемы методов доказательства аксиом (К. Гедель), а также раскрывалась роль операциональных средств в создании аксиоматических систем (Н. Мулуд). Вопросы аксиоматизации физических теорий обсуждались также Х. Патнэмом (эмпирическая проверка логических высказываний), фон Нейманом (построение квантовой теории с помощью неклассической логики), ван Фраасеном (создание лабиринта квантовых логик), В. Штегмюллером (использование лабиринта квантовых логик для построения аксиоматических систем). Все эти исследования привели к созданию стандартной архитектуры аксиоматического метода, когда теория рассматривалась с точки зрения двухуровневой конструкции, где высший уровень представлял собой формально-логический аппарат, состоящий из неинтерпретируемых высказываний, а низший – из предметной области, где эти понятия интерпретировались. Однако такая конструкция сегодня не срабатывает в компьютерных науках и информационных технологиях, а также во мно-

гих областях естественнонаучного и технического знания. Поэтому в настоящее время в философии науки наблюдаются отход от стандартной архитектуры аксиоматического метода и начинается поиск новой аксиоматической архитектуры, снимающей различие между семантикой и синтаксисом теории, в различных областях науки и техники и исследование её философских оснований [5; 10; 11; 12].

Однако все эти исследования рассматривают аксиоматические системы в уже готовом, статичном виде без учёта логики перехода от понятий старой теории к новой. Исключением была философия Н. Мулуда, показавшая развитие структурной научной мысли, создающей аксиоматические системы по специальным математическим правилам, которые устанавливали новые отношения между старой и новой теорией. Эта философия выявила не только аспекты генезиса и истории аксиоматических систем в микрофизике, но и их строение, их обобщающую способность и актуальность теоретических приложений, а также раскрыла связь между формально-логическим началом и эмпиризмом, именно поэтому структурализм Мулуда будет ориентиром в изучении развития аксиоматических систем в квантовой механике.

Эта работа выполнена в рамках структуралистского направления философии науки, в котором развита методологическая схема, в её основе лежит убеждение в том, что в научном знании не существует изолированных терминов. Каждый термин связан определёнными отношениями с другими элементами и всей системой понятий в целом по правилам коорди-

нации и субординации. Такой системой понятий выступает аксиоматическая система квантовой механики, в которой прослеживается связь между формально-логическим аппаратом, семантическими и эмпирическими понятиями. Эта методология с её тотальностью и системностью будет использована для объяснения развития аксиоматических систем в квантовой механике.

Два пути развития аксиоматических систем в квантовой механике

Аксиоматические системы квантовой механики создаются и развиваются по правилам логики и математики.

О создании аксиоматических систем в физике Гейзенберг пишет так: «...построение знания начинается с нескольких определений и аксиом, связанных друг с другом так, что возникает “замкнутая система” понятий. Каждому понятию придаётся математический символ, а связи между понятиями изображаются в виде математических уравнений. Математическое отображение системы обеспечивает невозможность противоречий внутри системы. Система определений и аксиом, могущая быть записана как описание неизменной структуры природы, которая не может быть зависима ни от конкретного места протекания процесса, ни от конкретного времени, и, следовательно, имеет силу быть независимой от пространства и времени» [4, с. 52].

Аксиоматизация научного знания связана с двумя условиями: первое условие – нужна объясняющая теория для того, чтобы наука на её основе могла дифференцировать свои по-

нения, таким теоретическим знанием в истории микрофизики выступила оптика. Второе условие – эти понятия должны впоследствии принять вид математических выражений, которые нужно свести воедино с целью создания непротиворечивого основополагающего закона, из которого можно вывести логическим путём следствия в виде всех остальных частных законов. Этот метод построения знания всегда использовался и развивался в классической, релятивистской и квантовой механике.

Прогресс в развитии аксиоматических систем квантовой механики состоял в том, что в них были внедрены математические структуры, которые благодаря своим операциональным свойствам и техническим приёмам смогли соединить область представления (логического, формального) с областью действия (сферы опыта, эксперимента). Математические средства не только развивали приёмы естественного мышления, но и раздвинули границы естественной техники операций с символами и знаками и дали собственные логические критерии применения этих операций. Операциональные правила математики не только выявили отношения между элементами структуры микрофизического знания, но и логически вывели все свойства этих элементов. Например, в физике атома структура атома выражает взаимодействие между ядром и электронами (элементами) или равновесие физических процессов. Это равновесие может быть описано на языке математики, для этого существует стационарная формула распределения энергии, компоненты этой формулы отражают распределение электронов

по кинетически возможным состояниям в соответствии с энергетическими правилами. Перегруппировка электронов в атоме в соответствии с энергетическими правилами подчиняется законам математической теории групп, что позволяет вывести всевозможные распределения электронов в структуре атома ещё до эксперимента.

Аксиоматические системы в микрофизике всегда развиваются в двух направлениях: первый путь – внедрение в них операциональных средств математики, а второй путь – выявление, группирование фактов и их “встраивание” в аксиоматические системы. Движение мысли протекает одновременно в двух направлениях – теория движется внутри самой себя, создавая новые понятия, далее она соотносит их с фактами и объясняет факты на основе математических моделей, являющихся структурными элементами аксиоматики. Так развивается внутренняя логика науки.

Рассмотрим первый путь – движение теории внутри себя самой и её совершенствование на основе математических средств. Операциональные средства математики (функции, матрицы, операторы, группы) позволяют расширять аксиоматические системы, поскольку задают своему математическому объекту всё новые свойства и в то же время контролируют логическую применимость этих свойств. Операциональные средства участвуют также в создании формально-логического аппарата аксиоматической системы, примером тому может служить экскурс в историю квантовой физики, создание П. Дираком квантово-механического формализма на основе гамильтонова подхода.

Физика начала XX в. создавала новую систему знания – волновую механику, причём роль создания такой системы должна была принять на себя математика. Если взглянуть на историю физики [2, с. 134], творцы волновой механики Л. де Бройль и Э. Шрёдингер начинают с того, что находят аналогии, сближающие механику с оптикой. Например, теория Якоби уже сочетала кинетические свойства потока частиц с оптическими свойствами волны, а фотонная концепция света Эйнштейна связывала кинетическую энергию частицы с частотой волны. Такие аналогии облегчали создание волновой механики, и теоретическая работа, начатая де Бройлем и математически завершённая Шрёдингером, заключалась в том, чтобы извлечь из этих аналогий обобщение. Волновая концепция должна была придать понятиям механики новый смысл, для этого она обращается к математическому описанию волны. Первые исследования де Бройля и Шрёдингера используют классическое понимание векторных операций в обычном пространстве и времени и закон непрерывного распространения волны. Им приходилось находить всё новые и новые векторные свойства волны, чтобы придавать новый смысл направлениям её колебания. Эти трудности потребовали усовершенствования формального и математического аппарата математики. Для этого в волновой механике стала использоваться релятивистская геометрия, что позволило Дираку определить понятие “спин”. Или другой пример – числа “q” Дирака, вводящие в физику некоммутативные операции. Операторы положения p и количества движения q действуют

на состояния волны ψ и определяют в зависимости от порядка своего применения различные состояния динамических переменных волны: $pq\psi \neq qp\psi$. Дирак, введя некоммутативные операции в квантовую механику, решил математическую задачу, поставленную Гейзенбергом, когда последний с помощью динамических переменных волны связал два атомных состояния и выразил их в виде матриц. Следствием этого была некоммутативность переменных, смысл которой был неясен самому Гейзенбергу. Дирак сразу понял важную роль этого нового свойства теории, которому было необходимо дать правильную интерпретацию. Дирак использовал аналогию между коммутатором и скобками Пуассона, что ему «позволило ввести процедуру дифференцирования в квантовую теорию и дало толчок к построению последовательного квантово-механического формализма на основе гамильтонова подхода» [7, с. 145]. Далее Дирак обобщил математический аппарат, когда построил квантовую алгебру для переменных, отличающихся некоммутативностью, последние он назвал q -числами (гейзенберговские матрицы). Ему удалось с помощью этих величин решить многие проблемы квантовой механики: он рассматривал задачу об атоме водорода и получил формулу Бальмера, а также стремился охватить релятивистские эффекты и особенности многоэлектронных систем.

Таким образом, ретроспективный взгляд на квантовую механику показывает, что она систематически заимствовала из различных разделов алгебры и геометрии математические средства для своего построения, развивая тем самым операциональный

подход. Новые понятия квантовой механики всё время перестраиваются в соответствии с правилами логики и математики, заменяя понятия классической механики. Так, с движением частицы связывается математически точное распространение волны, скорость частицы интерпретируется в волновых характеристиках средней скорости групп волн, фазы которых различны, амплитуда волны рассматривается как вероятности присутствия частицы в какой-либо области пространства. В дальнейшем все эти понятия дифференцируются так, чтобы передать квантовые свойства оболочки атома. Так, волна, связанная с движением электрона, рассматривается специфически, это уже стационарная волна, пространственные конфигурации этой волны можно вывести как частные решения уравнения, определяющего изменение волновой функции во времени.

Математизация квантовой механики влекла к развитию её физического языка. Но волновая механика не просто являлась переводом с одного языка на другой, когда, например, энергетические понятия, используемые в теории атома Н. Бора, переводятся на волновой язык и его термины – частота и длина волны. Этот перевод давал новые способы квантования энергии электрона, понимаемого как шкала энергетических уровней, получившая впоследствии экспериментальное подтверждение. В основе этого перевода лежит решение уравнения Шрёдингера для атома водорода, из которого следует набор дискретных энергетических уровней, соответствующих квантовым числам, которые были вычислены Н. Бором на основе экспери-

ментальных данных. Энергетические уровни появляются из чисто математических соображений, но впоследствии обретают физический смысл, когда связываются с представлением о нахождении на них электрона. Генезис физических понятий неразрывно был связан с математикой и не мог быть от неё оторван.

Математика становилась силой открытия нового знания, когда уже не хватало предсказательных возможностей интуитивных аналогий физики. Она способствовала развитию теоретической структуры физического знания, заменяя интуитивные схемы, лежащие в основе старых понятий физики, с помощью аксиом на новые концепты. Это хорошо показал Мулуд [8, с. 102–105] на примере преобразования механического понятия скорости в квантовой механике с помощью волновых понятий оптики. Так, в волновой механике стояла задача расчёта скорости волны, связанной с электроном, меняющим своё направление под действием электромагнитного поля. Для этого волновая механика заимствовала из оптики дифференциальное уравнение распространения простой монохромной волны с определённой скоростью. Но эта скорость должна была отличаться от скорости света в вакууме, и оптика дала аналогию: существование показателя преломления, характеризующего среду распространения и действующего как обратный коэффициент скорости. Кроме того, скорость волны есть также синусоидальная функция частоты, поскольку связана с воздействием рассеивания волн (условие задачи). В результате введения аналогии и условия задачи в уравнение монохромной

волны была получена характеристическая скорость волны. Дальнейшее введение аксиомы, связывающей длины волны с импульсом частицы, в уравнение характеристической скорости волны позволило прийти к уравнению Шрёдингера, которое математически устанавливает соответствие между волновыми и энергетическими характеристиками физической системы. Но это был не просто перевод на язык волновой механики данных, относящихся к потенциальному полю атома, служащих для вычисления возможных типов распределения энергии внутри атома, после наложения на систему формальных условий, это был также новый способ квантования энергии электрона, дающий более богатую шкалу квантовых энергий. Уравнение Шрёдингера представляет собой новое математическое понятие, способное к более широким обобщениям. Его решения приводят к более тонкому анализу структур квантовых чисел по сравнению с механической интерпретацией Бора и позволяют описывать состояния атома водорода или водородоподобных атомов, не пользуясь такими интуитивными понятиями, как «линейные орбиты».

Этот пример показывает не только то, как математика становится силой открытия нового знания в физике, но и то, как развивается физическая теория. Физические объекты выходят за пределы первоначальных аналогий, таких как «линейные орбиты», когда волновой язык начинает перестраивать характеристические величины, которые Бор вначале установил в своей механической интерпретации. Выйдя за пределы аналогий, физические понятия с помощью математических

систем (в данном случае введения аксиомы) получают операциональную устойчивость, позволяя не только использовать объяснительную силу волновой модели, но и обеспечить упорядочивание и стыковку волновой модели с опытными фактами. Математика не только обеспечивает внутреннюю логическую непротиворечивость понятий, но и намечает связь с аксиомами более фундаментальной теории, и именно математическая процедура становится силой открытия нового, когда уже не хватает интуитивных аналогий и гипотез. В этом и состоит методологическое значение принципа математизации в физике.

Теперь рассмотрим более подробно второй путь развития аксиоматических систем в квантовой механике, заключающийся во взаимодействии их с опытом. Экспериментальный поиск новых фактов связан с образованием индуктивных понятий. Одновременно идёт теоретический поиск, поскольку индуктивные понятия физики должны быть описаны и объяснены в рамках устойчивых структур аксиоматической системы. Вот пример из истории квантовой физики [1]. Формула И. Бальмера, описывающая спектр атома водорода, возникла индуктивным путём на основе наблюдения, классификации и измерения множества фактов. Эта формула выражала зависимость частот отдельных линий спектра от последовательности целых чисел. Формула Бальмера была использована Бором для теоретического анализа модели атома Э. Резерфорда, чтобы обеспечить её стыковку с опытом. Модель атома Резерфорда описывала орбитальные движения электронов, скорость которых непрерывно

менялась, и она не могла объяснить дискретность спектров атомов, наблюдавшуюся в эксперименте. Бор привёл в соответствие качественное различие экспериментальных данных с постоянно определяемыми множествами математики. Спектральные разновидности атомных излучений были упорядочены благодаря многократно повторенной системе квантовых чисел. Он ввёл различие между стационарными состояниями, находясь на которых, электрон не излучает энергии, и переходными состояниями, при которых происходит излучение. Стационарным состояниям соответствует множество квантовых энергетических состояний электрона, а переходное состояние математически определяется разностью энергетических уровней двух стационарных состояний (аксиома), что позволяет вновь использовать данные Бальмера: разность спектральных чисел пропорциональна разности двух энергетических состояний (тоже аксиома). Эти две аксиомы вводятся в формулу Планка, которая отныне будет координировать частоту излучения электрона и его энергию на двух стационарных состояниях с учётом постоянной Планка.

Этот пример показывает, как перестраивается модель атома Резерфорда Бором, когда последний начинает использовать индуктивные понятия и числа Бальмера, что в конечном итоге приводит к новой энергетической модели атома Бора, соответствующей эмпирическим фактам. Большую роль в построении этой модели сыграло применение теории множеств, позволившей многократно квантовать энергетические состояния электрона и стыковать модель атома с опытом.

Теорию множеств можно назвать операциональным средством для построения модели, и она являлась также медиатором, соединившим математические объекты с опытом.

Заключение

Можно сделать ряд общих выводов, касающихся вопросов генезиса и развития нового знания в аксиоматике квантовой механики.

1. Физика в доклассический и классический периоды своего развития извлекала свои идеи из сферы мнения, которую древние греки называли доклассическим знанием (примером может служить закон действия и противодействия в механике Ньютона), с помощью интуиции, и такое знание, опирающееся на подобное правдоподобие, можно условно назвать “гипотетическим”. В аксиоматике неклассической механики это “гипотетическое” знание заменилось на интерпретационную модель, взаимодействующую с интерпретируемыми фактами. В создании таких моделей, как было показано выше, принимают участие операциональные схемы и медиаторы. В итоге волновая механика не полагает всех свойств волны заранее известными, сама волна представляет собой математическую модель, контролирующую квантовые состояния электрона, необходимые для эксперимента.

2. Средством построения новых физических понятий в аксиоматических системах служат математические структуры и операциональные правила, эти правила устанавливают границы понятиям в рамках математических законов, которые разум предписывает себе сам. Идея, вложенная в понятие,

не даётся учёному извне, как утверждала греческая традиция, идущая от Платона и Аристотеля, продолжением которой является картезианство. Эйдос конструируется в процессе познания по операциональным правилам.

3. Развитие операционалистского подхода в квантовой физике приводит к мысли о несостоятельности кантовского априоризма, требующего интуиции чистого пространства и чистого времени, которое вводится в математическое рассуждение. Интуицию пространства и времени Канта можно назвать дооперациональными условиями физического познания, характерного для науки Нового времени. Кантовские представления о пространстве и времени заменяются в квантовой механике на физико-математическое топологическое представление. Операциональные функции этой топологии определяют путь дальнейшего рационализирования и стыковку с эмпирическими фактами. Физико-математическая топология использует все свойства пространств (векторных, аффинных, метрических), разрабатывается множество операциональных схем на основе математики, используются все возможности алгебраических средств для формулировки всех энер-

гетических характеристик объекта, далее даётся квантовая или волновая интерпретация объекта согласно концепциям механики. Так возникает несколько теоретических представлений об объекте на основании множества операциональных схем, и таким способом конструируются эйдосы в прикладной аксиоматике.

4. В операционализме форма не предшествует содержанию, она возникает на основе конструирования теоретического объекта посредством создания операциональных схем или математических уравнений, включающих различные разделы алгебры. В этом состоит отличие операционального подхода в квантовой механике от прежних декартовских представлений (форма предшествует содержанию) и эпистемологии И. Канта (возможна лишь одно теоретическое представление об объекте), объясняющих возникновение нового знания в классической науке. Неклассическая физика на основе операциональных математических средств способна развить множество теоретических представлений о физическом объекте. Развитие операциональных средств способствует дальнейшему росту научного знания и прогрессу науки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бор Н. Атомная физика и человеческое познание. М.: Иностранная литература, 1960. 151 с.
2. Бройль Л. де. Революция в физике. 2-е изд. М.: Атомиздат, 1965. 232 с.
3. Визгин В.П. Предусстановленная гармония между чистой математикой и физикой // Математика и реальность: труды Московского семинара по философии математики / под ред. В.А. Бажанова, А.Н. Кричевец, В.А. Шапошников. М.: Издательство Московского университета. 2014. С. 99–120.
4. Гейзенберг В. Физика и философия / пер. с нем. И.А. Акчурина, Э.П. Андреева. М.: Наука, 1989. 132 с.
5. Ковалев С.П., Родин А.В. Аксиоматический метод в современной науке и технике: прагматические аспекты // Эпистемология и философия науки. 2016. Т. 47. № 1. С. 153–169.

6. Манин Ю.И. Математика и физика // Знание. Новое в жизни, науке, технике. Серия: математика, кибернетика. М.: Знание, 1979.
7. Мехра Д. Золотой век теоретической физики: научная деятельность П.А.М. Дирака с 1924 по 1933 гг. // Успехи физических наук. 1987. Т. 149. Вып. 1. С. 135–172.
8. Мулуд Н. Современный структурализм: размышления о методе философии точных наук /под ред., с вступ. ст. Г. Курсанова. М.: Прогресс, 1973. 376 с.
9. Четчикова И.И. Операционализм в науке: истоки, возможности и пределы (на примерах из истории физики и химии) // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Философские науки. 2017. № 3. С. 100–111.
10. Esanu A. Evolutionary biology and the axiomatic method revisited // The Romanian Journal of Analytic Philosophy. 2013. Vol. 7. No. 1. P. 19–41.
11. Kovalyov S.P. Teoretiko-kategoriyniy podkhod k proektirovaniyu programmnykh system (Category-theoretic approach to designing programmed systems) // Fundamental and applied mathematics. 2014. Vol. 19. No. 3. P. 111–170.
12. Nicholson D.J., Gawne R. Rethinking Woodger's legacy in the philosophy of biology // Journal of the History of Biology. 2013. Vol. 47. P. 243–292.

REFERENCES

1. Bor N. *Atomnaya fizika i chelovecheskoe poznanie* [Atomic Physics and Human Knowledge]. Moscow, Foreign Literature Publ., 1960. 151 p.
2. Broglie L. de. *Revolutsiya v fizike* [The Revolution in Physics]. Moscow, Atomizdat Publ., 1965. 232 p.
3. Vizgin V.P. [The Pre-Established Harmony between Pure Mathematics and Physics]. In: Bazhanov V.A., Krichevets A.N., Shaposhnikov V.A., eds. *Matematika i real'nost': Trudy Moskovskogo seminar po filosofii matematiki* [Mathematics and Reality: Proceedings of the Moscow Seminar on Philosophy of Mathematics]. Moscow, MSU Publishing House, 2014, pp. 99–120.
4. Geizenberg V. *Fizika i filosofiya* [Physics and Philosophy]. Moscow, Nauka Publ., 1989. 132 p.
5. Kovalev S.P., Rodin A.V. [The Axiomatic Method in Modern Science and Technology: Pragmatic Aspects]. In: *Epistemologiya i filosofiya nauki* [Epistemology and Philosophy of Science], 2016, vol. 47, no. 1, pp. 153–169.
6. Manin Yu.I. *Matematika i fizika* [Mathematics and Physics]. In: *Znanie. Novoe v zhizni, nauke, tekhnike. Seriya: matematika, kibernetika* [Knowledge. New in Life, Science, Technology. Series: Mathematics, Cybernetics] Moscow, Knowledge Publ., 1979. 64 p.
7. Mekhra D. [Golden Age of Theoretical Physics: the Scientific Activity of P.A.M. Dirac from 1924 to 1933]. In: *Uspekhi fizicheskikh nauk* [Successes of Physical Sciences], 1987, vol. 149, no. 1, pp. 135–172.
8. Mulud N. *Sovremenniy strukturalizm: razmyshleniya o metode filosofii tochnykh nauk* [Modern Structuralism: Reflections on the Method of Philosophy of Exact Sciences]. Moscow, Progress Publ., 1973. 376 p.
9. Chechetkina I.I. [Operationalism in Science: The Origins, Capabilities and Limits (Examples from the History of Physics and Chemistry)]. In: *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo oblastnogo universiteta. Seriya: Filosofskie nauki* [Bulletin of Moscow Region State University. Series: Philosophy], 2017, no. 3, pp. 100–111.
10. Esanu A. Evolutionary Biology and the Axiomatic Method Revisited. In: *The Romanian Journal of Analytic Philosophy*, 2013, vol. 7, no. 1, pp. 19–41.
11. Kovalyov S.P. Category-Theoretic Approach to Designing Programmed Systems. In: *Fundamental and Applied Mathematics*, 2014, vol. 19, no. 3, pp. 111–170.

12. Nicholson D.J., Gawne R. Rethinking Woodger's Legacy in the Philosophy of Biology. In: *Journal of the History of Biology*, 2013, vol. 47, pp. 243–292.
-

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Чечеткина Ирина Игоревна – кандидат химических наук, доцент, доцент кафедры философии и истории науки Казанского государственного технологического университета;
e-mail: iralena@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Irina I. Chechetkina – PhD in Chemistry, assistant professor at the Department of Philosophy and History of Science, Kazan National Research Technological University;
e-mail: iralena@mail.ru

ПРАВИЛЬНАЯ ССЫЛКА НА СТАТЬЮ

Чечеткина И.И. Развитие аксиоматических систем в квантовой механике // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Философские науки. 2018. № 1. С. 140-151
DOI: 10.18384/2310-7227-2018-1-141-140-151

FOR CITATION

Chechetkina I.I. The Development of Axiomatic Systems in Quantum Mechanics. In: *Bulletin of Moscow Region State University. Series: Philosophy*, 2018, no. 1, pp. 140-151
DOI: 10.18384/2310-7227-2018-1-141-140-151