

РАЗДЕЛ IV. ФИЛОСОФИЯ НАУКИ И ТЕХНИКИ

УДК 168.521

DOI: 10.18384/2310-7227-2017-3-100-111

ОПЕРАЦИОНАЛИЗМ В НАУКЕ: ИСТОКИ, ВОЗМОЖНОСТИ И ПРЕДЕЛЫ (НА ПРИМЕРАХ ИЗ ИСТОРИИ ФИЗИКИ И ХИМИИ)

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 науки на примерах из истории физики и химии. Основное внимание акцентировано на анализе понятия «операционализм», выдвинутого в структурализме Н. Мулуда. Прослеживается зарождение операционализма в математике Декарта и его философском обосновании учения о методе. Рассматривается дальнейшее внедрение операциональных математических средств в физику и химию. Показаны как прогрессивная роль операционализма в создании алгоритмов и рождении новых понятий науки, так и его ограниченные возможности в создании единого языка химии. Действие операционализма в истории науки заключается в тотальной математизации, способствующей развитию формальных систем, языка и предсказательной функции науки. Автор приходит к выводу, что в химии этот процесс терпит крушение вследствие невозможности полной унификации и кодификации свойств химических частиц с помощью математических средств, поэтому химия остается самостоятельной и независимой наукой.

Ключевые слова: философия науки, структурализм, математизация науки, операционализм в физике и химии, создание новых понятий, язык химии, редукционизм.

OPERATIONALISM IN SCIENCE: ORIGIN, CAPACITIES AND LIMITS (EXAMPLES FROM THE HISTORY OF PHYSICS AND CHEMISTRY)

I. Chechetkina

Kazan National Research Technological University

68, K. Marx st., Kazan, Republic of Tatarstan, 420015, Russian Federation

Abstract. The article is devoted to the problem of mathematization of science illustrated by the examples from the history of physics and chemistry. The main attention is focused on the analysis of the concept of “operationalism” formulated in N. Mouloud’s structuralism. The study traces the origin of operationalism to Descartes’ mathematics and its philosophical grounding in *Discourse on the Method* and then covers further penetration of operational mathematical tools into physics and chemistry. The author shows a progressive role of operationalism in emergence of new scientific concepts and reveals its limitations in creating a common language of chemistry. The outcome of operationalism in the history of science is total mathematization promoting the development of formal systems, language and the predictive function of science. The author comes to the conclusion that this process crashes in chemistry due to the impossibility of complete unification and codification of the properties of chemical particles by means of mathematical means, that is why chemistry remains an independent science.

Key words: philosophy of science, structuralism, mathematization of science, operationalism in physics and chemistry, the creation of new concepts in science, the language of chemistry, reductionism.

Теоретизация науки ведёт к развитию её концептуального аппарата средствами математики. В результате проникновения в естественные науки операциональных алгебраических средств как совершенствуется язык науки, так и развиваются аксиоматические системы, опираясь на которые, наука может достаточно точно объяснить и предсказывать явления природы. В этом состоит методологическая роль операционализма в науке.

Философы и учёные, занимающиеся проблемой математизации науки, по-разному оценивают её роль в естественных науках. Одни видят в ней безграничное средство для развития науки: Пифагор, Платон, Г. Галилей, Р. Декарт, Р. Бэкон, И. Кант, К. Гаусс, М.В. Волькенштейн. Другие видят её

ограниченность в познании многих явлений: Э. Гуссерль, В. Гейзенберг и А. Эйнштейн, А.Е. и Б.А. Арбузовы.

Изучение роли математики в естественных науках требует обращения не только к настоящему, но и к прошлому, поскольку в нём существуют истоки этого явления, позволяющие раскрыть его особенности.

Операционализм Декарта как метод познания в математике

Термин «операционализм» заимствован из структурализма Мулуда, в котором он раскрыл «связь между системами символов и структурами объектов» [9, с. 35], которые изучаются естественными науками. Под операционализмом понимается техника оперирования символами и знаками

естественнонаучных объектов по правилам логики и математики.

В истории математики операциональные правила, способствующие преобразованию символов в аксиоматических системах, появились не случайно, они всегда были связаны с решением какой-либо математической задачи. Например, Лагранж и Коши выявили роль группы подстановок n элементов, когда решали алгебраические уравнения. Они привлекли внимание к понятию «группа», которое состояло в операциях над символами; операции заключались в изменении их порядка. Группа позволяет проводить преобразование свойств объекта, оставляя его неизменным. В дальнейшем изучение свойств групп привело к их классификации в зависимости от типа операции и стало источником развития не только самой математики, но и естественных наук.

Математика Античности (Евклид) и Нового времени (Декарт) дала первые модели операциональных правил, но со временем основу операционализма стали составлять символические формы алгебры, которые и легли в основу современной науки.

В Новое Время пионером в этом направлении был Ф. Виет, который стал вводить алгебраическую символику для решения числовых отношений. Он проводил параллель между решением алгебраических уравнений и геометрическими построениями.

Эти идеи оказали впоследствии влияние на Р. Декарта, создателя аналитической геометрии. Принципиально новым у Декарта было то, что им был изменён взгляд на саму геометрию: он не только ввёл новые символические обозначения в геометрию,

но и систематически сводил геометрические задачи к алгебраическим, широко внедряя операционалистский подход.

Внимание Декарта было сосредоточено на технизации геометрии с помощью алгебры. В труде «Геометрия» он построил исчисление отрезков, подобное арифметическому, и на основании операционального сходства предметов объединил геометрию и алгебру. Задачи на нахождение отрезков можно было решать с помощью формального алгоритма, как в арифметике, сам алгоритм выводится из соотношения, связывающего отрезки геометрической фигуры. Так получалось уравнение, решение которого приводило к выделению из него совокупности операций над известными отрезками для получения неизвестного.

Техника оперирования с отрезками была математическим выражением философского метода Декарта. В «Правилах для руководства ума» он описывает основные положения своего метода: начинать с простого и очевидного (от найденного уравнения). Дальше нужно с помощью цепочки умозаключений идти от простого к сложному с помощью дедукции, следуя алгоритму. При этом двигаться нужно методически, именно последнее обстоятельство гарантирует полноту полученных результатов. Искомое конструируется из того, что известно [5].

Последовательное применение найденного метода в науках, основанных на мере и порядке, должно было привести, по мнению Декарта, к построению универсальной математики, всеобщего исчисления, называемого *mathesis universalis*, основанного на

технике калькуляции с формальными символами.

Декарт с помощью нового метода отбросил всё богатство интуитивных возможностей в геометрии, которым следовала Античность (дополнительные построения в пространстве с помощью циркуля и линейки, интуитивное схватывание геометром формулы (эйдоса) геометрической фигуры). На первый план в познании вышел математический формализм в поиске алгоритма решения найденного уравнения и его дальнейшая геометрическая интерпретация. В.Н. Катасонов пишет о смысле операционализма как метода познания так: «Внимание методологии с наступлением Нового времени всё больше перемещается с тех сущностей, которыми оперирует наука, на те операции, которым подвергает её субъект, на активность самого субъекта, что в философии означает становление новоевропейского идеализма» [8, с. 99].

Внедрение операционализма в физику в Новое время

В Новое время дальнейший марш к научности, выразившийся в математизации механики, связан с именем Галилео Галилея, осознавшего фундаментальную роль математики в эксперименте. Он сближает физический объект с математическим в идеализированном эксперименте и создает новую физику, способную устанавливать законы движения. Отныне механика становится точной наукой, поскольку её основой является математика.

Математизацию механики осуществил Ж. Лагранж, широко внедряя операционалистские методы в механи-

ку И. Ньютона, что позволило ему создать новую аналитическую механику. Свою задачу в механике Лагранж видит так: «Я поставил себе целью свести теорию механики и методы решения связанных с нею задач к общим формулам, простое развитие которых даёт все уравнения, необходимые для решения каждой задачи...» [7, с. 11].

Лагранж создаёт математический формализм в механике следующим образом: заменяет множество сил, независимых друг от друга и действующих на индивидуальные тела, на одну силовую функцию, и все механические понятия сводит к математическим абстракциям. Для него силы пространства, времени и скорости являются простыми отношениями, обыкновенными математическими количествам. В «Аналитической механике» Лагранж заменяет уравнения движения Ньютона на базовый вариационный принцип. Последнее обстоятельство позволило упразднить множество *ad hoc* утверждений, существовавших в классической механике. Вариационный принцип стал базовым в механике Лагранжа, и вся аналитическая механика систематически сводила отдельные задачи механики к вариационной задаче для определенного интеграла [10, с. 256], к поиску его общей формулы. Этот подход был алгоритмическим, и именно в этом Лагранж видел его огромное значение: он стремился свести механику к области математического анализа, которая содержала в то время наиболее разработанную систему математических доказательств. Так, декартовский идеал всеобщей универсальной математики был реализован в механике Лагранжа.

Если физика, начиная с XVII в., с успехом внедряла математические

представления, развивая операционалистский подход, то химия в это время предпочитала от него воздерживаться, увидев его беспомощность в объяснении химических явлений, объём которых быстро нарастал. Химикам этого времени предстояло сначала пропустить свои вещества через реторту, выработать язык символов и свои собственные теоретические представления, чтобы потом на основе своих понятий (количественных законов и структурных представлений) объяснить фактический материал.

Исторические предпосылки запаздывания математизации химии по сравнению с физикой в XVII в.

Исторические предпосылки запаздывания научного развития химии по сравнению с физикой в XVII в. связаны с унаследованием химии от прошлого таких «концептуальных систем», как учение о четырёх элементах, или стихиях Аристотеля, спагиритовскую (последователи Парацельса) трехэлементную теорию и алхимические представления. Химики этого столетия свободно сочетали алхимические представления и стремились «вписать» свои наблюдения в космологическую картину мира, принятую ими в «концептуальных системах». Для этого они обращались к неоплатоническому спиритуализму или к алхимическим идеям трансмутации. Опытные данные они пытались объяснить с помощью этих учений, но универсальный язык описания явлений отсутствовал.

Решительную позицию по отношению к элементаризму Аристотеля, рассматривавшему химические элементы

как простые неделимые субстанции, занял Р. Бойль, введя в химию механико-корпускулярные представления. Целью Бойля было развитие языка описания механически движущихся корпускул, которые он наделял различными размерами, формами и характеристиками движения, чтобы объяснить свойства веществ. Бойль, следуя традиции Галилея, начинает вводить в экспериментальную химию количественный подход: он использует весы, приборы для измерения свойств газов и жидкостей. Но в отличие от Галилея Бойль ещё не понимает фундаментальной роли математики в теории, сводящейся к установлению связи между практикой и теорией, что позволяет эффективно управлять химическим экспериментом. Словом, химия в XVII в. нуждалась в традиции, идущей от Пифагора, утверждавшей, что «всё есть число», и без этой традиции химия не смогла бы стать наукой.

Исторические предпосылки запаздывания становления химии как науки по сравнению с физикой связаны также с особым типом химической рациональности, установившейся в среде научного сообщества до появления Лавуазье. Этот тип рациональности был ориентирован на сохранение объяснительного статуса качественного разнообразия мира, выступал альтернативой механико-корпускулярному подходу в химии, отсюда следовало скептическое отношение химиков к корпускулярным представлениям Бойля и неприятие его взглядов. Этот тип рациональности В.П. Визгин называет квалилативистским, его главная черта – «отсутствие редукции чувственно воспринимаемых качеств изучаемых явлений, данных в опыте, к механико-корпускулярным

структурам и количественно определенным факторам», поэтому «типичные методы этой рационализации – качественная элементология и классификация веществ и тел, иерархизация качеств» [3, с. 223]. Квалитативистский тип рациональности находил себе опору в познании – традиции, восходящей к программе науки Аристотеля. В программе науки Аристотеля утверждалась концепция четырех элементов (стихий), из которых состояли все природные тела, свойства которых можно было наблюдать. Концепция придавала вторичным качествам вещей статус сущностей, которые можно было классифицировать и систематизировать с целью упорядочивания химических явлений. Без опоры на эту концепцию в программе науки Аристотеля предмет химии был бы невозможен.

В XVIII в., в эпоху исследований Лавуазье, химики предпочитали обращаться не к гипотетическим корпускулярным представлениям Бойля, а к своим традициям XVII в. – к концепции четырех элементов Аристотеля. Лавуазье совершает переворот в традиции: он заменяет четыре элемента Аристотеля на химические элементы и интерпретирует их как простые чистые вещества, неразложимые в химических реакциях на составные части. Исследование и выявление элементов было поставлено на количественную аналитическую основу и означало изучение прокаливания металлов и процессов горения. По-сути, место Галилея в химии занял Лавуазье, считает В.П. Визгин, поскольку он соединил две традиции, идущие от античности – концепцию элементов Аристотеля и учение о числах Пифагора. Но его когнитивная теоретическая система химии была переходной, и её завершением стали количе-

ственные законы химии, установленные в конце XVIII – начале XIX вв.: закон эквивалентов (Рихтер и Дальтон), законы постоянства состава (Пруст) и кратных отношений (Дальтон). Краеугольным камнем количественных законов стал закон постоянства массы веществ, участвующих в химической реакции, сформулированный Лавуазье.

Количественный подход в химии, развитый благодаря работам Лавуазье, начал вытеснять качественный подход и квалитативистские схемы мышления, использующие в объяснении химических явлений описание практической деятельности человека, так называемую модель «кухни».

Последующее развитие количественных представлений в химии связано с внедрением в неё корпускулярно-атомистических представлений, развитых в пионерских работах Ж. Пруста, Дж. Дальтона и А. Авогадро. Только после развития корпускулярно-атомистических представлений в химии XIX в. в предмете химии соединились, наконец, три традиции Античности – атомизм, элементаризм и учение о числах. Но химия наукой ещё не стала, для этого ей предстояло ещё развить структурные представления, выработать свои законы, на основе которых возможны причинно-следственные объяснения химических явлений, а также создать рациональный язык символов, поддающийся техническим правилам математики.

Развитие химической символики и количественных представлений в учениях о структуре

В конце XVIII в. и начале XIX в. химики начинают обсуждать проблему

обозначения элементов и их соединений с целью их удобства употребления и понятности. Такие известные французские учёные, как А. Лавуазье, Г. Морво, А. Фуркруа и К. Бертолле начинают рассматривать вопросы химической номенклатуры, а Дж. Дальтон вводит символы химических элементов в формулы химических соединений, когда ищет связь между структурой и свойствами молекул.

Й. Берцелиус провёл реформу в химической символике. Он заменил кружки и прочие геометрические фигуры в символике Дальтона на начальные буквы латинских названий химических элементов, в таком виде она существует и сегодня. Как и у Дальтона, каждый знак в формулах Берцелиуса символизировал химический элемент, и каждому элементу соответствовала его относительная атомная масса. Зная относительные атомные массы, можно было по формуле рассчитать количественный состав вещества, конечно, если формула и атомные массы были правильными. Так химическая символика стала впервые выражать количественный состав вещества.

Тем не менее Берцелиус быстро отказался от вводимой им символики и в соответствии со своей теорией радикалов перешёл к составлению умозрительных рациональных формул, не обращаясь для этого к опыту [4, с. 56].

Против произвольного конструирования рациональных формул выступил Ш. Жерар. Он вернулся к эмпирическим брутто-формулам, выразившим состав молекулы. Жерар установил связь между эмпирической формулой органического вещества, её молекулярной массой и плотностью пара элемента, входящего в состав молекулы. «Он

исходил из эмпирической формулы, которую приводил в соответствие с опытной плотностью» [11, с. 234], а не наоборот, как поступали его предшественники. Жерар видел достоинство своего метода в сведении реакций разложения сложных органических соединений к числовым выражениям, он гордился тем, что занимался «химической алгеброй», и самыми важными для него были установление аналогий с помощью теории типов и обобщение их в виде математических формул.

С середины XIX в. структурная химия начинает использовать понятие валентности, чтобы зафиксировать законы взаимодействий и внутриатомных соединений в молекуле. Сначала Э. Франкланд вводит понятие «соединительной силы атомов», затем химики начинают вводить различные схемы валентности: постоянная валентность атома Ф. Кекуле, переменная валентность как возможность обладать двумя степенями сродства у А. Купера, теория строения А.М. Бутлерова, введившая представления о неэквивалентности связей, обусловленной взаимным влиянием атомов в молекуле. Затем было установлено пространственное строение молекул, допускавшее для некоторых элементов валентность выше обычной, а теория А. Вернера вводила понятия главной и побочной валентности. Химическая символика с учётом новых представлений о валентности была весьма разнообразной: от «роликовых» моделей молекул Кекуле, в которых атомы углерода были соединены в цепочки – ролики, по краям которых располагались атомы водорода, до направленности валентности атома углерода от центра к вершинам тетраэдра в стереохимии.

Большинство же химиков предпочитало пользоваться формулами, напминавшими обозначения в теории типов Жерара–Лорана, в которых связь между атомами элементов и радикалами обозначалась с помощью фигурных скобок, причём Ш. Жерар, А. Кольбе и Ф. Кекуле считали, что строение одного и того же вещества можно выразить несколькими рациональными формулами. В противоположность этим химикам Бутлеров считал, что строение можно описывать только одной рациональной формулой. По выражению А.Е. Арбузова, это и был тот Рубикон, который перешагнул Бутлеров, когда доказал, что именно он является истинным творцом теории химического строения [1, с. 10].

Пересмотр понятия валентности в квантовой химии с помощью математических средств

Первые понятия валентности, условно, были математическими, поскольку валентность связывалась с количеством атомов в молекуле. Понятия валентности, развиваемые в структурных теориях, представляли собой чувственно-наглядные образы и были статичными, поскольку каждый атом заблаговременно помещался в заранее «отведенные ему рамки» в молекуле, обозначенные понятием «числом единиц сродства». Как модели, на основе которых можно было больше описывать, чем объяснять и предсказывать химические явления, они были ещё недостаточно операциональными для того, чтобы с ними можно было производить алгебраические вычисления.

Понятие валентности в первых структурных теориях начинает пере-

осмысливаться в электронной химии. Г. Льюис выдвинул идею о гомеоплярной связи как обобществленной паре электронов. При образовании химической связи все валентные электроны участвуют в образовании октетов или могут переходить от одного атома к другому, образуя электронную пару. «Представление о смещении электронов, характеризующее состояние поляризации и поляризуемости молекул, т. е. распределение электронной плотности в молекуле, позволило нагляднее представить картину взаимного влияния атомов в молекуле и передачи этого влияния» [2, с. 17]. Химики восприняли наглядность представлений об электронных смещениях и развили их далее в теории сопряженных связей и механизмах реакций.

Химические формулы в связи с новым учением о химической связи как обобществленной паре электронов изменили свою символику. Они стали более динамичными, поскольку стали изображать смещение электронной пары в молекуле к наиболее электроотрицательному атому или их группировке. Электронные представления давали качественные результаты в химии, могли объяснять механизмы органических реакций, их направленность и некоторые физико-химические свойства химических соединений. Но они ещё были насыщены образными и интуитивными представлениями о смещении электронов в молекуле. Тем не менее понятие валентности в электронной химии изменилось: оно «оторвалось» от своего первоначального конкретного смысла, когда отождествлялось со степенью насыщенности атома химическими связями, и стало более абстрактным, иллюстрируя электронный состав молекулы.

Понятие валентности окончательно изменилось в квантовой физике, когда Дж. Лондон и В. Гайтлер стали рассматривать гомеополярную связь на примере молекулы водорода как представление о том, что связывание атомов происходит за счёт обмена электронов между ними. Гомеополярная связь стала согласовываться с волновой математикой и обозначать стационарную волну, значение которой рассчитывается как произведение значений стационарных волн взаимодействующих друг с другом электронов. Никакое образное представление не может зафиксировать стационарную волну, это расположение облаков электронной плотности в атоме. Но математика может оценить плотность вероятности нахождения электронов, для этого она обращается к анализу энергетической структуры поля, включающего оба атома. Химическая связь, по мнению Гайтлера, представляет собой энергетический процесс, учитывающий взаимное влияние ядер и электронов в зависимости от расстояния между ними, и этот процесс подлежит расчёту [6]. Гайтлер и Лондон с помощью сконструированных ими волновых функций рассчитали энергию электронов для разных значений расстояния между ядрами. Математические средства (теория операторов и теория групп) наметили путь расчёта химической связи. Понятие химической связи стало интерпретироваться в квантовой механике так: валентная связь создаётся двумя электронами в синглетном спиновом состоянии [12]. Математические символы, используемые для расчёта волновых функций, были наделены физическим смыслом, с помощью которого химики интер-

претировали понятие валентной связи. При этом понятие валентной связи приобрело предельную абстрактность. Математика также наделила формулу стационарной волны даром предвидения: рассчитанный процесс образования связи может быть согласован с опытом, когда волновой спектр возбужденного атома приобретёт новые возможные стационарные значения, предсказанные ранее. Кроме того, понятие валентной связи приобрело операциональную устойчивость, когда стало согласовываться с опытом.

Таким образом, изучение эволюции химической символики и количественных представлений в химии помогает осмыслить, как разделяются в познании образ и теоретическое представление о химическом объекте с развитием математических средств. При этом происходит дифференциация понятий химии по мере охвата их математикой, их символические обозначения становятся всё более абстрактными, а описательные и объяснительные функции понятий теории начинают уступать место предсказательной.

Операционализм в химии: возможности и пределы

Химия, расширяя диапазон своих технических операций с символами, пользовалась несколькими функциями языка. Её язык имел больше описательную функцию в ранних структурных теориях, тогда химическая структура описывалась непосредственно и конкретно на основе интуитивных представлений. Затем язык начинал восходить к математическим представлениям, чтобы объяснять и описывать свойства химических веществ: исходя из причинной

связи «структура – свойство» так было в ранних учениях о валентности и в электронных теориях. Наконец, с помощью математики, поставившей на службу технические операции, в первых теориях квантовой химии стало возможно предвидеть область математических значений физико-химических величин, чтобы контролировать в эксперименте область их реализаций. Полностью операциональная наука сочетает средства воплощения и средства предвидения – в этом состоит прогрессивная роль операционализма. Но не только в этом заключаются возможности операциональных средств математики (теории групп, матриц, операторов) в квантовой химии. Эти технические средства способствуют рождению новых понятий (молекулярные и атомные орбитали) в химии, когда математические символы переводятся на язык физики.

Процесс рождения новых понятий в науке идёт двумя путями. Первый путь заключается в переводе физических понятий на язык математики – так поступала как классическая физика Галилея–Ньютона, так и химия, когда использовала представления о пропорциях в учениях о составе и структуре. Второй путь связан с развитием операциональных возможностей алгебраических средств, внедряемых в квантовую механику. В этом случае математика идёт впереди физики, и её понятия переводятся на язык физики, в рамках которых интерпретируются химические термины.

Научный символизм в химии, как и в другой естественной науке, является

многоуровневым. Сначала он восходит к аналогиям и интуитивным представлениям, затем язык становится всё более формальным, а понятия логически обоснованными, но при этом утрачивается то богатство информации, которое было в нём прежде. В итоге учёный вынужден балансировать между строгим логическим обоснованием, дифференциацией и дальнейшей унификацией своих понятий с помощью математики и сохранением образности языка. Вот почему до сих пор в химии существуют тривиальные названия химических веществ, которые не кодифицируются и невыразимы на языке математики.

Многоуровневый язык химии невозможно полностью подчинить математике, для этого математика сначала должна была бы установить соответствия между этими уровнями мышления, затем свести их к одной математической модели и подвергнуть её проверке, т. е. поступить так, как поступает математика внутри самой себя. По этой же причине невозможно создать единый унифицированный язык химии, что означает полное его подчинение математическим и логическим правилам. В области создания единого языка в химии, как, впрочем, и в другой эмпирической науке, операционализм терпит крушение, что свидетельствует о невозможности полного подчинения языка химии математике и физике, поэтому химия до сих пор остаётся самостоятельной наукой со своим образным и гибким языком, позволяющим описывать множество химических соединений. Идеал *mathesis universalis* Декарта в химии не состоялся.

ЛИТЕРАТУРА

1. Арбузов А.Е. 90 лет теории химического строения // Известия АН СССР. Серия: Отделение химических наук. 1952. № 1. С. 1–13.

2. Арбузов Б.А. Теория строения А.М. Бутлерова и её развитие // История отечественной химии: труды Второго Всесоюзного совещания. Москва, 21–26 апреля 1951 г. М.: Издательство АН СССР, 1953. С. 10–19.
3. Визгин В.П. Становление научной рациональности в химии // Рациональность на перепутье: в 2 кн. Кн. 2. М.: РОССПЭН, 1999. С. 205–246.
4. Гельт Э. История органической химии с древнейших времён до настоящего времени / пер. с нем. И.Я. Кригера, С.Е. Фрадкова, ред. А.Е. Луцкого. Харьков, Киев: Государственное научно-техническое издательство Украины, 1937. 334 с.
5. Декарт Р. Правила для руководства ума // Декарт Р. Сочинения: в 2 т. Т. 1 / сост., ред., вступ. ст. В.В. Соколова. М.: Мысль, 1989. 654 с.
6. Дмитриев И.С., Семенов С.Б. Квантовая химия – её прошлое и настоящее. Развитие электронных представлений о природе химической связи. М.: Атомиздат, 1980. 160 с.
7. Дорфман Я.Г. Всемирная история физики: с древнейших времён до конца XVIII в. М.: Издательство АН СССР: Институт истории естествознания и техники: Наука, 1974. 350 с.
8. Катасонов В.Н. Форма и формула (ревизия платонистской философии математики в геометрии Декарта) // Рациональность на перепутье: в 2 кн. Кн. 2. М.: РОССПЭН, 1999. С. 65–107.
9. Мулуд Н. Современный структурализм: размышления о методе философии точных наук / под ред., вступ. ст. Г. Курсанова. М.: Прогресс, 1973. 376 с.
10. Романовская Т.Б. Модификации в механистической картине мира и изменения принципов рациональности в физике XIX в. // Рациональность на перепутье: в 2 кн. Кн. 2. М.: РОССПЭН, 1999. С. 247–289.
11. Файерштейн М.Г. История учения о молекуле в химии (до 1860 г.). М.: Издательство АН СССР: Институт истории естествознания и техники: Наука, 1961. 386 с.
12. Чечеткина И.И. Наномир: основные понятия квантовой механики и квантовой химии и их интерпретация // Вестник Казанского технологического университета. 2015. Т. 18. № 19 (294). С. 42–47.

REFERENCES

1. Arbuzov A.E. [Ninety Years of the Theory of Chemical Structure]. In: *Izvestiya AN SSSR. Seriya: Otdelenie khimicheskikh nauk* [Proceedings of the USSR Academy of Sciences. Series: Department of Chemical Sciences], 1952, no. 1. pp. 1–13.
2. Arbuzov B.A. [A. M. Butlerov's Theory of Structure and its Development]. In: *Istoriya otechestvennoi khimii: trudy Vtorogo Vsesoyuznogo soveshchaniya. Moskva, 21–26 aprelya 1951 g.* [The History of the Russian Chemistry: Proceedings of the Second All-Union Conference. Moscow, April 21–26, 1951]. Moscow, Publishing of the Academy of Sciences of the USSR Publ., 1953. pp. 10–19
3. Vizgin V.P. [The Emergence of Scientific Rationality in Chemistry]. In: *Ratsional'nost' na pereput'e. Kn. 2* [Rationality at Crossroads. B. 2]. Moscow, ROSSPEN Publ., 1999, pp. 205–246.
4. Gél't E. *Istoriya organicheskoi khimii s drevneishikh vremen do nastoyashchego vremeni* [The History of Organic Chemistry from Ancient Times to the Present]. Kharkov, Kiev, State Scientific and Technical Publishing House of Ukraine Publ., 1937. 334 p.
5. Descartes R. [Rules for the Direction of the Mind]. In: *Dekart R. Sochineniya. T. 1* [Works. Vol. 1]. Moscow, *Mysl'* Publ., 1989. 654 p.
6. Dmitriev I.S., Semenov S.B. *Kvantovaya khimiya – yeyo proshloye i nastoyashcheye. Razvitiye elektronnykh predstavleniy o prirode khimicheskoy svyazi* [Quantum Chemistry Her Past and Present. The Development of Electronic Concepts on the Nature of Chemical Bond]. Moscow, *Atomizdat* Publ., 1980. 160 p.

7. Dorfman Ya.G. *Vsemirnaya istoriya fiziki: s drevneishikh vremen do kontsa XVIII v.* [World History of Physics: From the Earliest Times till the End of the 18th Century]. Moscow, Publishing of the Academy of Sciences of the USSR Publ., Institute of the History of Natural Science and Technology Publ., Nauka Publ., 1974. 350 p.
8. Katasonov V.N. [Form and Formula (The Revision of Plato's Philosophy of Mathematics in Descartes' Geometry)]. In: *Ratsional'nost' na pereput'e. Kn. 2* [Rationality at Crossroads. B. 2]. Moscow, ROSSPEN, 1999, pp. 65–107.
9. Mouloud N. *Sovremenniy strukturalizm: razmyshleniya o metode filosofii tochnykh nauk* [Les structures, la recherche et le savoir: réflexion sur la méthode et la philosophie des sciences exactes]. Moscow, Progress Publ., 1973. 376 p.
10. Romanovskaya T.B. [Modifications in the World Mechanistic Picture and Changes in the Principles of Rationality in Physics in the 19th Century]. In: *Ratsional'nost' na pereput'e. Kn. 2* [Rationality at Crossroads. B. 2]. Moscow, ROSSPEN Publ., 1999, pp. 247–289.
11. Faiershtein M.G. *Istoriya ucheniya o molekule v khimii (do 1860 g.)* [The History of Molecule Doctrine in Chemistry (up to 1860)]. Moscow, Publishing of the Academy of Sciences of the USSR Publ., Institute of the History of Natural Science and Technology Publ., Nauka Publ., 1961. 386 p.
12. Chechetkina I.I. [Nanoworld: Basic Concepts of Quantum Mechanics and Quantum Chemistry and their Interpretation]. In: *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of Kazan State University], 2015, Vol. 18, no. 19 (294), pp. 42–47.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

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

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

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

ПРАВИЛЬНАЯ ССЫЛКА НА СТАТЬЮ

Чечеткина 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
DOI: 10.18384/2310-7227-2017-3-100-111

CORRECT REFERENCE TO THE ARTICLE

Chechetkina I.I. Operationalism in Science: Origin, Capacities and Limits (Examples from the History of Physics and Chemistry). In: *Bulletin of Moscow Region State University. Series: Philosophy*, 2017, no. 3, pp. 100-111
DOI: 10.18384/2310-7227-2017-3-100-111