

Периодическая система элементов Д. И. Менделеева: между прошлым и будущим

С. Л. Чернышев¹, Л. К. Исаев², А. Д. Козлов²

¹Москва, Российская Федерация, e-mail: nature@front.ru

²Всероссийский научно-исследовательский институт метрологической службы,
Москва, Российская Федерация, e-mail: isaev-vm@vniims.ru, kozlov@vniims.ru

Рассмотрены возможности исследования Периодической системы элементов Д. И. Менделеева. Показано, что для классификации химических элементов может служить четырёхзначная логика квантовых измерений. Применение квантовых шкал с информацией о положении химического элемента с заданным порядковым номером позволяет определить новые задачи метрологических исследований и развить новые подходы к квантовой метрологии.

Ключевые слова: периодическая система элементов Д. И. Менделеева, четырёхзначная логика, квантовые измерения, классификация, квантовые шкалы.

Введение. Возможность открытия истинных причин явлений существует благодаря измерениям. Сопоставление результата измерения массы вещества и «индивидуальности вещества, выраженной в химических превращениях», привели Д. И. Менделеева, по его собственному заключению, к открытию периодического закона [1]. В связи с 150-летием периодического закона химических элементов ООН объявила 2019 г. годом периодического закона химических элементов. Открытие Периодической системы элементов (ПСЭ) было бы невозможным без достижений в части определения атомного веса, признанного в то время основной количественной характеристикой элемента. У ПСЭ в форме таблицы Д. И. Менделеева с 1869 г. большая история. Однако и по настоящее время необходимо совершенствование представлений о ПСЭ для извлечения пока ещё недоступной информации, содержащейся в структуре системы. Эта информация нужна для разработки новых технологий с использованием уже открытых элементов, а также для прогнозирования структуры и свойств новых элементов, в том числе сверхтяжёлых элементов с порядковыми номерами более 118. В связи с этим необходимы, в частности, новые модели процесса измерений и применение новых физических и математических понятий. В некоторой степени этот пробел устранён в недавно вышедшей монографии [2].

Систематизация. Важная идея, положенная в основу ПСЭ, заключается в фундаментальном значении, которое придавалось понятию «элемент» [3]. Согласно представлениям Д. И. Менделеева «элемент» – это не только химический элемент, но, кроме того, – некая абстрактная субстанция. Такому «абстрактному элементу» могут быть приписаны различные характеристики: атомный вес, заряд ядра атома, количество электронов в атоме и т. д. Объединяющей сущностью таких элементов может служить порядковый (атомный) номер, роль которого впервые была отмечена Ван ден Брейком на основе

данных по рассеянию α -частиц [4]. Введение в рассмотрение порядковых номеров элементов позволяет в полной мере использовать достижения физики дискретного состояния – квантовой механики. Для описания ПСЭ можно также применить аппарат теории шкал.

Фундаментальное свойство окружающей природы – способность к самоорганизации. Представление результатов эволюционных процессов самоорганизации в виде определённой системы – новый уровень понимания явлений природы. ПСЭ, открытая Д. И. Менделеевым в 1869 г., в интегрированном виде содержит необходимую для будущих исследований и технологий физическую, химическую и метрологическую информацию, во многом ещё не использованную [5]. Возможно, что раскрытие кодов эволюционного саморазвития и логических основ построения ПСЭ послужит стимулом для осмысления функционирования интеллектуальных систем, признаком сознания которых служит способность интуитивного постижения глубокого различия между истиной и ложью [6].

В заключительной, неопубликованной при жизни Д. И. Менделеева, главе «Мировоззрение» книги «Заветные мысли» он писал: «...по моему разумению, грань наук, донныне едва достигнутая и, по всей видимости, ещё и надолго долженствующая служить гранью научного познания, грань, за которою начинается уже не научная область, всегда долженствующая соприкасаться с реальностью, из неё исходить и в неё возвращаться, эта грань сводится (повторю опять для избежания недоразумений – *по моему мнению*) к принятию исходной троицы несливаемых, друг с другом сочетающихся, вечных (насколько это доступно нам узнавать в реальностях) и всё определяющих: вещества (или материи), силы (или энергии) и духа (или психоза). Признание их слияния, происхождения и разделения уже лежит вне научной области, ограничиваемой действительностью или

реальностью. Утверждается лишь то, что во всём реальном надо признать или вещество, или силу, или дух, или, как это всегда и бывает, их сочетание, потому что одинаково немислимы в реальных проявлениях ни вещество без силы, ни сила (или движение) без вещества, ни дух без плоти и крови, без сил и материи» [7].

В начале XIX в. с развитием идей химической атомистики и методов химического анализа появились первые попытки систематизации элементов по их атомному весу, признанному основной количественной характеристикой элемента. За последние годы, спустя почти 150 лет с момента создания периодической системы с 69 элементами, открыты несколько десятков новых химических элементов, до элемента с порядковым номером 118 включительно, положения которых в таблице соответствуют структуре ПСЭ. Однако причины периодичности свойств химических элементов, проявляющейся в зависимости от их массы или порядкового номера, не получили необходимого системного объяснения [8]. В 1889 г. во время выступления в Лондоне Д. И. Менделеев подчёркивал важность поиска «общих начал, которые были бы пригодны для реального постижения и обладания природою химических изменений вещества...» [9]. Данное положение особенно важно для открытия новых элементов с большими порядковыми номерами, поскольку концепции построения ПСЭ в целом не соответствуют классическим представлениям квантовой механики.

Ряд особенностей ПСЭ, а также составляющих её элементов, служат определяющими факторами для исследователей и задают направления дальнейших поисков, часть из которых выполнялась по грантам РФФИ. Отметим следующие факторы: неопределённость задания номеров групп и периодов для всех элементов; неоднозначность определения положений водорода и гелия; ограниченность представления периодических свойств элементов в виде таблицы, содержащей только группы и периоды элементов; неоднозначность валентных свойств элементов; многообразие кристаллических форм химических элементов (полиморфизм); новые свойства квазикристаллических структур; наличие изотопов; проявления размерных факторов при исследовании наноструктур.

Существуют более 700 различных форм изображения ПСЭ, однако поиски новых форм продолжаются и направлены на определение внутренней симметрии (паттерна организации) системы элементов [10]. «Белые пятна» в объяснении строения ПСЭ – причина поисков, которые, так или иначе, обращаются к логическим основам. Известно, что математики обращались к логическим построениям, чтобы укрепить фундамент и наметить пути новых поисков. Для совершенствования представлений о ПСЭ также необходим анализ её логических оснований на базе современной теории измерений.

Известно, что существует противоречие между квантовой теорией и строением ПСЭ, состоящее в том, что построение водородоподобных электронных конфигураций на основе квантовой теории с использованием квантовых чисел соответствует структуре ПСЭ только до 18-го элемента (аргон) включительно. Решение проблемы согласования

строения ПСЭ и квантовой теории заключается в признании того, исследование ПСЭ включает в себе, по меньшей мере, два подхода, что может проявляться в существовании двух видов шкал. Следствием этого является, в частности, двойственное положение первых двух элементов – водорода и гелия – в таких шкалах. Один вид шкал, например, соответствовал бы водородоподобной системе элементов, отображая бесконечное разнообразие структур в соответствии с группами ортогональных преобразований (вращений и отражений), проявляющихся в квазикристаллических объектах. Другой вид шкал воспроизводил бы общепринятую структуру ПСЭ в трёхмерном случае, отображая свойства преобразований элементов в соответствии с группами инвариантных решёток, взаимосвязанных со строением кристаллов. Два вида взаимосвязанных шкал позволяют обеспечить согласование водородоподобной системы и структуры ПСЭ для элементов с произвольными порядковыми номерами.

Логические основания. Понимание логики окружающей среды важно для формирования и развития представлений о ПСЭ. Известно, что измерения вносят изменения в динамику исследуемого процесса и воздействуют на исследуемый объект (измеряемую величину) так же, как и окружающая среда. Принципиальная неустранимость воздействия измерительного прибора на наблюдаемую систему – характерная черта квантовых измерений. Измерение в квантовой механике (квантовое измерение) – взаимодействие между классическим объектом (измерительным прибором) и объектом квантовым. При этом чем точнее измерение, тем сильнее оказываемое им воздействие, и лишь при измерениях очень малой точности воздействие прибора на измеряемый объект может быть слабым. Квантовая механика на основе вероятностной интерпретации позволяет объяснять физические явления и процессы микромира. В то же время ни эволюция волновой функции согласно уравнению Шредингера, ни использование математического аппарата для получения результатов измерений не предусматривают модели процесса измерений. Отсутствие математического описания процесса измерений при исследовании микрообъектов приводит к следующим трудностям: необходимости интерпретации волновой функции и самой квантовой механики; выяснению роли наблюдателя в процессе перехода от физической величины (множества возможных результатов) к её собственному значению (определению конкретного результата); возникновению парадоксов при переходе от квантовой к классической физике [11, 12]. Конечно, все эти проблемы относятся к проблемам квантовой метрологии, которая должна получить принципиально новое развитие после принятия в ноябре 2018 г. реформированной Международной системы единиц SI, которая стала, по существу, *квантовой SI в связи с определением единиц основных физических величин через фиксированные значения фундаментальных физических констант!*

Можно предположить картину, при которой не существование кванта действия с необходимостью приводит к вероятностному описанию явлений микромира, а наоборот, вероятностное описание предполагает существование кванта воздействия. При этом квант воздействия взаимосвязан

с отличными от нуля вероятностями ошибок первого α и второго β рода, характеризующими воздействие окружающей среды. Логические состояния «ложное утверждение», соответствующее вероятности ошибки первого рода, и «ложное отрицание», соответствующее вероятности ошибки второго рода, при сравнениях представляли бы в этом случае, по квантовологической интерпретации фон Неймана, своеобразные объекты физической реальности.

Если информационную модель взаимодействия динамической системы с окружающей средой представить в виде последовательного сравнения с мерами, то вероятности ошибок первого и второго родов при сравнениях будут выполнять функции воздействия окружающей среды – «метанаблюдателя». В результате приходим к дискретному марковскому процессу блуждания по четырём логическим состояниям («истинное утверждение», «истинное отрицание», «ложное отрицание», «ложное утверждение»), связанным с принятием решения о состоянии системы. Переход от традиционной логики двух состояний (утверждение или отрицание какого-либо факта) к четырёхзначной логике измерений сопровождается переходом от метрических пространств к конфигурационному пространству размерностей. В этом случае проблемы, связанные с локализацией микрообъектов, редукцией (стягиванием) волновой функции, исключаются, поскольку в матрицах квантовых измерений вместо координаты или времени используется понятие размерности пространства, включающее представление о D-мерном симплексе [13]. При этом одномерность связана с одномерным симплексом – отрезком; двумерное пространство с двумерным симплексом – треугольником и т. д. В квантовой механике известный логический парадокс связан с рассмотрением двух возможных состояний двух классических и одного квантового объектов: измерительного прибора, «шредингеровского кота» и квантовой частицы. С точки зрения четырёхзначной логики при измерениях как квантового, так и неквантового объекта мы не только не выясняем «жив кот или нет», но и приходим вместо одного или двух состояний к четырём логическим состояниям (с добавлением «может быть» и «не определено»), обусловленным отличными от нуля вероятностями ошибок [9, 14].

Логические основы измерений представляют основу логики окружающей среды. Положения четырёхзначной логики измерений приводят к понятиям «матрица квантовых измерений» и «результаты квантовых измерений» [14], которые могут служить целям классификации элементов с заданными порядковыми номерами [15]. Современные методы классификации в метрологии реализуются на базе теории шкал [16]. При этом ПСЭ может быть представлено как система шкал, отображающих свойства симметрии с учётом размерности пространства. Такое представление может потребовать введения новых математических объектов, например фигурных чисел, объединяющих понятия числа, фигуры и множества и, в частности, служащих элементами матриц квантовых измерений [17].

Классификация. Как известно, классификация заключается в разбиении множества исследуемых объектов на классы

эквивалентности. Значение классификации при этом выходит за рамки только математической проблемы. Примером может служить классификация многомерных наблюдений в процессе построения ПСЭ. При этом каждый химический элемент может быть представлен в виде набора характеризующих его разнотипных признаков. Такой набор включает характеристики конфигурации внешних электронных оболочек атомов с выявленным классифицирующим фактором (зарядом атомного ядра или порядковым номером).

Современное представление ПСЭ основано на квантовых закономерностях и включает описание периодов и групп, в которых располагаются классифицируемые элементы в соответствии с их порядковыми номерами. Классификация элементов, характеризующихся порядковыми номерами, например атомов, может быть проведена на основе эмпирических квантовых последовательностей, представленных в виде шкал. Согласно И. Пфанцглю шкала – это отображение эмпирической системы отношений в числовую систему отношений, индуцирующее определённые отношения эквивалентности между эмпирической и числовой системами [18].

По квантовым представлениям электрон при движении как бы создаёт электронное облако, плотность которого характеризуется волновой функцией. Размер, форма и ориентация облака описываются квантовыми числами. Для полного описания квантового состояния электрона в атоме используются четыре квантовых числа – главное, орбитальное, магнитное и спиновое. Квантовые числа – целые или дробные числа, которые определяют возможные дискретные значения физических величин, характеризующих квантовые системы (атомное ядро, атом, молекулу и др.). В соответствии с принципом запрета Паули в одном и том же атоме не может быть более одного электрона с одинаковым набором четырёх квантовых чисел.

ПСЭ в современном представлении относится к трёхмерному физическому пространству. Переход к пространствам других размерностей может изменить систему классификации, основанную на квантовых числовых последовательностях и взаимосвязанную с решениями уравнения Шредингера. Квантовые числовые последовательности, зависящие от главного квантового числа, могут представлять соответствующие квантовые шкалы [14, 15]. Водородоподобная система элементов в трёхмерном физическом пространстве представляет собой шкалу наименований, характеризующую качественные свойства, в которой определённому атому (названию атома) ставится в соответствие определённое множество значений квантовых чисел. Если при заданном главном квантовом числе значения трёх других квантовых чисел совпадают, то такие элементы (атомы) образуют определённую классификационную группу. Так, например, в первую группу водородоподобной системы попадают элементы: водород, литий, натрий, медь и т. д. Элементы второй группы водородоподобной системы – гелий, бериллий, магний, цинк и т. д. [2].

Определение электронной конфигурации свободного атома часто не позволяет сделать однозначный вывод о важнейших химических свойствах, которые должен проявлять соответствующий элемент. Количественное объяснение

специфики проявляемых химическими элементами свойств и периодичности этих свойств представляет чрезвычайно сложную задачу. Для решения этой задачи необходимо понять взаимосвязанную с процессом измерения логику эволюционного развития, сформировавшего ПСЭ.

Неопределённость измерения характеризуется соответствующими условными вероятностями ошибки первого рода α и ошибки второго рода β . Множество условий проведения эксперимента представлено комплексным числом (α, β) , а результаты измерения отображаются в соответствующих строках матрицы. При безошибочном контроле состояний условные вероятности ошибок α и β равны нулю – в результате получаем единичную матрицу. Таким образом, если исследуемая величина $L=0,1,\dots$ может принимать бесконечное (счётное) число значений $N=0,1,\dots$, а вероятности ошибок измерения α и β не зависят от значения измеряемой величины, то приходим к стохастической матрице бесконечного порядка $M_{L,N}(\alpha,\beta)$, в L -й строке которой определено дискретное распределение вероятности $P_L(N;\alpha,\beta)$.

Квантование воздействий приводит к тому, что от действительных значений вероятностей ошибок первого и второго рода $0<\alpha<1, 0<\beta<1$ переходим к дискретной последовательности вероятностей:

$$(\alpha_0, \beta_0); (\alpha_1, \beta_1); \dots; (\alpha_M, \beta_M) \dots$$

Каждая пара равных значений вероятностей ошибок соответствует определённым условиям окружающей среды и порождает *матрицу квантовых измерений, которая характеризуется параметром порядка $M=0,1,2,\dots$* [14]. Развитие положений четырёхзначной логики путём построения комплексов в матрицах квантовых измерений позволяет классифицировать элементы, характеризуемые порядковым номером в зависимости от условий окружающей среды или параметра порядка. При этом возникает возможность неоднозначного представления структуры сложного объекта, каким является атом [15, 17].

В матрице квантовых измерений каждому элементу, характеризующемуся определённой вероятностью, поставлено в соответствие фигурное число, которое можно трактовать как ортогональное разбиения единицы. Таким образом, фигурные числа определённого вида представляют собой результаты квантовых измерений согласно [13, 14]. *Параметр формы M фигурного числа представляет параметр порядка матриц квантовых измерений* и взаимосвязан с параметром порядка обобщённых золотых пропорций и чисел Фибоначчи [2, С. 294–315]. Отметим, что обобщённые золотые пропорции введены А. П. Стаховым, исходя из задач измерений [19]. В настоящее время интерес к этим математическим объектам обусловлен исследованиями квазикристаллов [15, 20].

Комплексы элементов – результаты квантовых измерений в матрицах – представляют специфические паттерны. При этом порядковый номер химического элемента, помещённый в определённую ячейку комплекса, представляет сумму неотрицательных целочисленных значений параметра,

характеризующего размерность структуры и параметра порядка. Таким образом, в процессе воспроизводства паттерна возникает своеобразная «конкуренция» размерностей и свойств симметрии моделей элемента.

В то же время сложная структура комплекса позволяет провести классификацию элементов с учётом значения параметра порядка. Такая классификация приводит к водородоподобной системе элементов, но обладает принципиальной особенностью: возникает неоднозначность образов классифицируемых элементов.

Многочисленные свойства (химические, физические и др.) сложного объекта могут определяться не в одной, а сразу в нескольких различных шкалах, описывающих как количественные, так и качественные свойства, например особенности атомной структуры или принадлежность к определённой группе преобразований. Исследование ПСЭ предусматривает анализ двух видов шкал: комплексной и степенной. Комплексная шкала, соответствующая водородоподобной системе элементов, отображает бесконечное разнообразие структур в соответствии с неограниченным увеличением наборов квантовых чисел при неограниченном увеличении главного квантового числа. Степенная шкала, приводящая к общепринятой ПСЭ в трёхмерном случае, отображает конечное число преобразования элементов. Степенные шкалы могут быть представлены с помощью нумерующих функций [21]. Два вида квантовых шкал (комплексные и степенные) полностью взаимосвязаны.

По результатам системного анализа ПСЭ может быть представлена в пространствах различных размерностей в зависимости от того, какая степень квантовой числовой последовательности служит основой построения шкал. На определённую размерность пространства в процессе классификации элементов указывают также взаимосвязи степенных шкал и нумерующих функций. Для каждой размерности можно построить два вида шкал: квантовая степенная шкала отображает свойства преобразования элементов, а квантовая комплексная шкала – структурные свойства элементов.

Полный набор отображений структуры и свойств химических элементов в пространствах размерности 1D–4D (и только таких размерностей), включает восемь квантовых шкал, представляющих ПСЭ [2]. Таким образом, эволюция ПСЭ рассматривается в виде четырёх подсистем, последовательно самоорганизующихся в пространствах с размерностями, начиная от 1D и до 4D. Отметим, что впервые подобное представление эволюции ПСЭ для 2D рассмотрено в [22].

К основным результатам построения системы квантовых шкал, представляющих основу построения ПСЭ, относятся: классификация элементов, учитывающая свойства симметрии для различных размерностей пространства;

согласование квантово-механического представления ПСЭ и её современного вида (для трёхмерного пространства), включая порядковые номера элементов от 1 до 118;

возможность системной классификации элементов с порядковыми номерами, выражаемыми натуральными числами;

модели элементов, характеризуемых порядковыми номерами, в виде фигурных чисел и представление порядкового

номера в виде суммы параметров порядка (формы) и размерности;

неоднозначность моделей элементов с одним и тем же порядковым номером, различающихся значениями параметра порядка и соответственно геометрическими образами;

правила преобразования элементов для различных размерностей пространства;

сложный характер моделей элементов и возможность их сопоставления с квазипериодическими структурами [23].

Классификация элементов, характеризующихся порядковыми номерами, на основе комплексных шкал приводит к тому, что один и тот же элемент может иметь один, два или три образа в виде соответствующих фигурных чисел. Отметим, что неоднозначность моделей атомов впервые была выявлена в 1878–1879 гг. в опытах А. Майера. Эти опыты послужили основой первой не квантовой модели атома, построенной Д. Д. Томсоном. Целям такого моделирования служат комплексы в матрицах квантовых измерений, представляющие множества элементов различных размерностей и различных симметрий, объединённых по определённым правилам.

Неоднозначность представления моделей элементов, обусловленная различными значениями параметра порядка, возникает вследствие того, что один и тот же порядковый номер может появляться в комплексах матриц квантовых измерений более одного раза. Таким образом, для комплексных шкал различных размерностей выделены классификационные группы, для которых элементы, расположенные в этих группах, будут иметь по одному, по два или по три образа в виде соответствующих фигурных чисел. Атомы одного и того же вещества в различных условиях способны образовывать разные по симметрии и по форме кристаллы. В то же время существует сходство пространственного расположения атомов или ионов различных веществ. Эта информация может быть полезна для проведения метрологических исследований кластеров воды, металлов и других соединений, в которых определённые атомы одного и того же элемента, например кислорода или железа, могут входить в различные электронные конфигурации [17].

Как указывалось ранее, двойственность положения водорода и гелия в ПСЭ объясняется двойственным видом шкал. Первые изменения свойств, обусловленные размерностью физического пространства, начинают проявляться для элементов с порядковыми номерами 3 и 4 (литий и бериллий). При увеличении порядковых номеров элементов таких отличительных особенностей становится все больше.

В процессе исследования структуры химических элементов и их соединений выявляются связи типа «состав – структура – свойства», где всё большее значение приобретает учёт размерных факторов. В этой связи можно отметить целый ряд проблем, рассматриваемых в грантах РФФИ: исследования свойств одномерных кристаллов; создание наноразмерных структурированных углеродных материалов для систем преобразования и хранения энергии; молекулярный дизайн одно- и двумерных молекулярных структур для молекулярной электроники; синтез квазидвумерных полупроводниковых наночастиц и ансамблей на их основе;

исследования физико-химических свойств нанопроволок и нанонитей. Новые возможности для метрологических исследований свойств элементов открываются в каждой из восьми квантовых шкал, отражающих размерности пространства. Введение одномерной периодической системы в 1D-мире ($D=1$) порождает одномерную химию, в которой существуют четыре группы элементов. Применение положений одномерной химии предполагает постановку новых метрологических задач по исследованию особенностей одномерных квантовых систем, включая исследования свойств квазикристаллов, представляющих структуры размерами от 1 до 100 нм и широко используемых в различных областях науки и техники. Модели плоских структур, представляющие основу химии поверхности, а также особенности их преобразования могут быть исследованы на основе двух квантовых шкал, воспроизводящих ПСЭ для размерности пространства $D=2$. Здесь в комплексной двумерной шкале присутствует бесконечное число симметрий элементов, отвечающее расширяющемуся набору значений квантовых чисел, а в квадратичной шкале число групп элементов равно десяти, т. е. равно числу групп инвариантных решёток плоского мира [2].

Новые свойства элементов ПСЭ, включая свойства преобразований электронного строения элементов с выделением или поглощением энергии, следуют из рассмотрения двух типов квантовых шкал в случае $D=3$ [17]. Отметим, что для исследования сверхтяжёлых элементов с порядковыми номерами, превышающими 118, выявленные с помощью квантовых шкал свойства могут стать незаменимой информацией, поскольку расчётные методы исследования структур таких элементов чрезвычайно сложны. Так, кубическая квантовая шкала позволяет прогнозировать количество элементов в VIII, IX и X периодах соответственно 18, 32 и 8 и свойства этих элементов. Наконец, анализ преобразований элементов в четырёхмерном пространстве на основе комплексной и степенной шкал в 4D может послужить основой развития четырёхмерной или «космической» химии и её метрологического обеспечения [24].

Заключение. Химические элементы, из которых образованы все природные объекты, – результат длительных эволюционных процессов. Представление результатов этих процессов в виде определённой системы – значительное достижение человеческой мысли. Совершенствование представлений о ПСЭ, неразрывно связанной с именем её первооткрывателя – Д. И. Менделеева, необходимо в первую очередь для извлечения пока ещё недоступной информации, содержащейся в структуре системы. Эта информация нужна для разработки новых технологий с использованием уже открытых элементов, а также для прогнозирования структуры и свойств новых элементов, в том числе сверхтяжёлых элементов с порядковыми номерами более 118. Принципиально важным моментом применения теории шкал [18], позволяющей на строгой основе сопоставлять конкретные материальные и определённые числовые системы, к исследованию ПСЭ является использование системы взаимосвязанных шкал, более полно отображающих процессы

самоорганизации [15]. Взаимосвязь таких шкал осуществляется на основе квантовых числовых последовательностей.

Ключевая роль метрологии с необходимостью проявляется в исследованиях новых методов синтеза различных (металлоорганических, фторорганических, фосфорсераорганических и др.) соединений, методов анализа кластеров металлов, используемых в молекулярной электронике, нелинейной оптике и фотокаталитических системах. При этом основой классификации химических элементов может служить четырёхзначная логика квантовых измерений и система взаимосвязанных квантовых шкал. Таким образом, важная информация может быть получена, исходя из положения химического элемента с заданным порядковым номером в определённой квантовой шкале, представляющей систему ПСЭ с учётом размерности пространства. Поскольку многие свойства химических соединений существенно зависят от размерности структур, то на основе этой информации могут быть сформулированы новые задачи метрологических исследований, включая создание баз данных прецизионных значений характеристик новых материалов с определёнными электрическими, магнитными и другими свойствами [24].

Сложность расчётов на основе методов молекулярной квантовой химии приводит к необходимости поиска новых подходов к анализу электронных распределений и химической связи. Один из таких подходов связан с представлением системы квантовых шкал, отображающих ПСЭ в пространствах различных размерностей. Как показано в [17], существует четыре вида таких размерностей, в которых может быть произведена классификация элементов, характеризующихся порядковыми номерами, базирующаяся на квантовых числовых последовательностях, приводящая к восьми квантовым шкалам и согласованная с трёхмерным вариантом ПСЭ. Это одно из направлений в развитии квантовой метрологии.

Список литературы

1. Менделеев Д. И. Периодический закон. Основные статьи. Сер. «Классики науки». М.: Изд-во АН СССР, 1958. С. 529–554.
2. Чернышев С. Л. Четыре измерения Периодической системы элементов. М.: ЛЕНАНД, 2019. 332 с.
3. Scerri E. R., *American Scientist*, 2008, vol. 96, pp. 52–58. <https://doi.org/10.1511/2008.69.52>
4. Льюис М. История физики. Пер. с итальянского Э. Л. Бурштейна. М.: Мир, 1971.
5. Тарбеев Ю. В., Трунов Н. И., Лобашев А. А., Кухарь В. В. Периодическая система элементов и метрология квантовых мезоскопических систем // Измерительная техника. 2001. № 9. С. 53–62.
6. Пенроуз Р. Новый ум короля: о компьютерах, мышлении и законах физики. Пер. с англ. / Под общ. ред. В. О. Малышенко. Изд. 4-е. М.: УРСС, Издательство ЛКИ, 2011. 400 с.
7. Менделеев Д. И. Заветные мысли. М.: Голос-Пресс, 2009. С. 382–383.
8. Кораблева Т. П., Корольков Д. В. Развитие теории периодической системы во второй половине XX в. // Вестник

Московского Университета. Сер. 2. Химия. 2002. Т. 43. № 2. С. 113–116.

9. Менделеев Д. И. Периодическая законность химических элементов. «Фарадеевское чтение» в лондонском Химическом обществе (23 мая – 4 июня 1889 г.). М.: Изд-во АН СССР, 1958, С. 208–236.
10. Scerri E. R., Edwards J., *Foundations of Chemistry* 3: 183–196, 2001. <https://doi.org/10.1023/A:1011458803337>
11. Кадомцев Б. Б. Динамика и информация. М.: Редакция журнала «Успехи физических наук», 1997. 400 с.
12. Kibler M. R., *Foundations of Chemistry*, 2007, no. 9, pp. 221–234. [arXiv:quant-ph/0611287](https://arxiv.org/abs/quant-ph/0611287). <https://doi.org/10.1007/s10698-007-9039-9>
13. Понтрягин Л. С. Обобщения чисел. М.: Наука, 1986.
14. Чернышев С. Л., Чернышев Л. С. Квантовый анализ результатов измерений // Измерительная техника. 2006. № 12. С. 3–8.
15. Исаев Л. К., Чернышев С. Л. Основанная на теории шкал классификация элементов, характеризующихся порядковыми номерами // Нелинейный мир. 2007. № 10-11, Т. 5. С. 705–711.
16. Брянский Л. Н., Дойников А. С., Крупин Б. Н. Метрология. Шкалы, эталоны, практика. Юбилейная серия научных изданий под общей ред. М. В. Балаханова. М.: ВНИИФТРИ, 2004.
17. Чернышев С. Л. Фигурные числа: Моделирование и классификация сложных объектов. М.: Красанд, 2015. 400 с.
18. Пфанцгаль И. Теория измерений / Пер. с нем. М.: Мир, 1976.
19. Стахов А. П. Введение в алгоритмическую теорию измерений. М.: Советское радио, 1977.
20. Векилов Ю. Х., Черников М. А. Квазикристаллы // Успехи физических наук. 2010. Т. 180. № 6. С. 561–586.
21. Исаев Л. К., Чернышев С. Л. Выявление взаимосвязи шкал, характеризующих количественные и качественные свойства сложных объектов, на основе нумерации // Метрология. 2012. № 12. С. 3–12.
22. Negadi T., Kibler M., *International Journal of Quantum Chemistry*, 1996, vol. 57, no. 1, pp. 53–61. <http://arxiv.org/abs/atom-ph/9512001v1>. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-461X\(1996\)57:13.0.CO;2-Y](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-461X(1996)57:13.0.CO;2-Y)
23. Чернышев С. Л., Чернышев Л. С. Сверхрешетки и фигурные числа в модели системы обработки сигналов и восприятия цвета // Журнал радиоэлектроники. 2013. № 12. С. 18.
24. Лорд Э. Э., Маккей А. Л., Ранганатан С. Новая геометрия для новых материалов. / Пер. с англ. к.х.н. Л. П. Мезенцевой, под ред. В. Я. Шевченко, В. Е. Дмитриенко. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. 264 с.

References

1. Mendeleyev D. I., *Periodicheskiy zakon. Osnovnye stat'i. "Classiki nauki"*, Moscow, AN SSSR Publ., 1958, pp. 529–554 (in Russian).
2. Chernyshev S. L., *Chetyre izmereniya Periodicheskoy systemy elementov*, Moscow, LENAND Publ., 2019, 332 p. (in Russian).
3. Scerri E. R., *American Scientist*, 2008, vol. 96, pp. 52–58. <https://doi.org/10.1511/2008.69.52>

4. Mario Gliozzi, *STORIA della FISICA*, Torino, 1965.
5. Tarbeev Yu. V., Trunov N. N., Lobashev A. A., Kukhar' V. V., *Measurement Techniques*, 2001, vol. 44, no. 9, pp. 944–952. <https://doi.org/10.1023/A:1013263823125>
6. Penrose R., *The Emperor's New Mind: Concerning Computers, Minds and The Laws of Physics*, Oxford Univ., 1989, 480 p.
7. Mendeleyev D. I., *Zavetnye mysli*, Moscow, Golos-Press Publ., 2009, pp. 382–383 (in Russian).
8. Korableva T. P., Korol'kov D. V., *Vestnik MGU. Ser. 2. Chemistry*, 2002, vol. 43, no. 2, pp. 113–116.
9. Mendeleyev D. I., *Periodicheskaya zakonnost' khimicheskikh elementov. Faraday Discussions in London Chemical Society (23 May – 4 June 1889)*, Moscow, AN SSSR Publ., 1958, pp. 208–236.
10. Scerri E. R., Edwards J., *Foundations of Chemistry* 3: 183–196, 2001. <https://doi.org/10.1023/A:1011458803337>
11. Kadomtsev B. B., *Dinamica I informatsiya*, Moscow, Uspekhi fizicheskikh nauk Publ., 1997, 400 p.
12. Kibler M. R., *Foundations of Chemistry*, 2007, no. 9, pp. 221–234. arXiv:quant-ph/0611287 . <https://doi.org/10.1007/s10698-007-9039-9>
13. Pontryagin L. S., *Obobshcheniya chisel*, Moscow, Nauka Publ., 1986 (in Russian).
14. Chernyshev S. L., Chernyshev L. S., *Measurement Techniques*, 2006, vol. 49, pp. 1171–1178. <https://doi.org/10.1007/s11018-006-0256-8>
15. Isaev L. K., Chernyshev S. L., *Nelineinyi mir*, 2007, no. 10–11, vol. 5, pp. 705–711 (in Russian).
16. Bryansky L. N., Doynikov A. S., *Metrologia. Shkaly, etalony, practica*, VNIIFTRI Publ., 2004 (in Russian).
17. Chernyshev S. L., *Figurnye chisla: Modelirovanie i klassifikatsiya slozhnykh ob'ektov*, Moscow, KRASAND Publ., 2015, 400 p. (in Russian).
18. Pfanzagl I., *Theory of measurement*, Wiirzburg, Wien, 1971.
19. Stakhov A. P., *Vvedeniye v algoritmicheskuyu teoriyu izmereniy*, Moscow, Sovetskoe radio Publ., 1977 (in Russian).
20. Vekilov Yu. Kh., Chernikov M. A. *Kvazikristally, Uspekhi fizicheskikh nauk*, 2010, vol. 180, no. 6, pp. 561–586 (in Russian).
21. Isaev L. K., Chernyshev S. L., *Metrologiya*, 2012, no. 12, pp. 3–12 (in Russian).
22. Negadi T., Kibler M., *International Journal of Quantum Chemistry*, 1996, vol. 57, no. 1, pp. 53–61. <http://arxiv.org/abs/atom-ph/9512001v1> . [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-461X\(1996\)57:13.0.CO;2-Y](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-461X(1996)57:13.0.CO;2-Y)
23. Chernyshev S. L., Chernyshev L. S., *Journal of Radio Electronics*, 2013, no. 12, p. 18.
24. Lord E., Mccay A., Ranganatan S., *New Geometries for New Materials*, Cambridge, 2006.

Дата поступления: 03.06.2020.

Дата принятия: 06.07.2020.

The Periodic Table: between the Past and the Future

Sergey L. Chernyshev¹, Lev K. Isaev², Alexander D. Kozlov²

¹Moscow, Russian Federation, e-mail: nature@front.ru

²All-Russian Research Institute of Metrological Service, Moscow, Russian Federation, e-mail: isaev-vm@vniims.ru, kozlov@vniims.ru

Possibilities of the Periodic Table exploration are considered. It is shown that the four-valued logic of quantum measurements may be used for the classification of chemical elements. The application of the quantum scales with information on the position of chemical elements with the known sequence numbers inside them allows to find the new aims for metrological investigations and to develop new approaches in the quantum metrology.

Key words: Periodic Table (PT), four-valued logic, quantum measurements, classification, quantum scales.