

DOI: 10.22363/2224-7580-2023-1-19-29

ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ И ПРОБЛЕМА ЕЁ ОБОСНОВАНИЯ

И.А. Бабенко

*Институт гравитации и космологии
Российского университета дружбы народов
Российская Федерация, 115419, Москва, ул. Орджоникидзе, д. 3*

Аннотация. В статье рассматривается пять стадий в истории открытия и попыток обоснования периодической системы химических элементов Менделеева. Первая стадия состоит в накоплении, систематическом анализе обширного эмпирического материала и в непосредственном установлении периодического закона химических элементов Менделеевым. На второй стадии предпринимались попытки атомно-электронного объяснения периодичности физических и химических свойств элементов на базе квантовой механики и принципа Паули. Третья стадия связана с развитием ядерной физики, а также развитием таких химических методов, как радиохимический анализ, хроматографический метод цвета и т. д. На четвертой стадии предлагалось решение проблемы на базе теории групп в квантово-механическом понимании. Пятая стадия основана на реляционном обосновании периодической системы химических элементов таблицы Менделеева, соответствующем методике описания адронов.

Ключевые слова: периодическая таблица химических элементов Менделеева, стандартная модель, теоретико-полевой подход, реляционный подход, частицы, химические элементы, обоснование масс частиц

Введение

Периодическая таблица химических элементов Менделеева была создана на основе эмпирических данных. Ее открытие сыграло важную роль в создании квантовой теории, а также явилось основанием многочисленных попыток ее обоснования. Так, Д.Д. Иваненко выделял три стадии в развитии периодической системы химических элементов на базе закономерностей квантовой физики [1]. В настоящее время ряд авторов высказывает справедливую мысль, что для решения этой проблемы необходима теория, построенная на иных принципах. На наш взгляд, к настоящему времени созрели условия для решения данной фундаментальной проблемы. Возникающие четвертая и пятая стадии, связанные с решением вопроса о массах элементарных частиц, формируются в рамках двух физико-теоретических подходов: 1) теоретико-полевого подхода (при наличии априорно заданного пространства времени), где объяснение периодической системы осуществляется в рамках стандартной калибровочной модели физических взаимодействий, и 2) реляционного

подхода, где нет априорно заданного пространства-времени. В работе Ю.С. Владимирова [2], например, было предложено ее решение в рамках реляционной парадигмы на базе математического аппарата теории бинарных систем комплексных отношений.

Данная статья посвящена обсуждению основных положений пяти стадий создания и попыток обоснования периодической системы таблицы Менделеева.

Первая стадия

Первая стадия состоит в накоплении и систематическом анализе обширного эмпирического материала, что непосредственно привело к установлению периодического закона химических элементов Менделеевым.

Для создания таблицы, прежде всего, необходимо было выделить свойства химических элементов, на основе которых должна формироваться таблица. Так, в 1803 году Дж. Дальто ввел понятие «атомная масса», он же ее и определил. По его предложению, в качестве единицы атомной массы должна выбираться масса атома водорода, так называемая «водородная шкала». В 1818 году Берцелиус опубликовал таблицу атомных масс, отнесённых к атомной массе кислорода, принятой равной 16. Система атомных масс Берцелиуса использовалась до 1860-х годов, когда химики вновь стали использовать водородную шкалу. Отметим, что в 1906 году химики опять перешли на кислородную шкалу, по которой за единицу атомной массы принимали 1/16 часть атомной массы кислорода. После открытия изотопов кислорода (^{16}O , ^{17}O , ^{18}O) атомную массу стали указывать по двум шкалам: химической, в основе которой лежала 1/16 часть средней массы атома природного кислорода, и физической с единицей массы, равной 1/16 массы атома ^{16}O . (Использование двух шкал имело ряд недостатков, вследствие чего в 1961 году перешли к единой, углеродной шкале.)

В 1829 году И. Деберейнер в попытке систематизировать известные химические элементы выдвинул идею о «законе триад». Его идея заключалась в том, что атомная масса среднего элемента триады близка к среднему арифметическому атомных масс двух крайних элементов триады. Разбить все известные элементы на триады И. Деберейнеру не удалось. Но закон триад явно указывал на наличие взаимосвязи между атомной массой и свойствами элементов и их соединений.

В 1843 году Л. Гмелин опубликовал таблицу «химически сходных элементов», расставленных по группам в порядке возрастания «соединительных масс», разбитых на триады, тетрады и пентады.

В 1850 году Макс фон Петтенкофер и Жан Дюма предложили «дифференциальные системы», предназначенные для выявления общих закономерностей в изменении атомного веса элементов.

В 1862 году А. Шанкуртуа предложил винтовой график элементов с расположением химических элементов в порядке возрастания атомной массы.

Также в 1862 году американский ученый Джон Ньюлендс предложил закон октав в попытке сопоставить химические свойства элементов с их

атомными массами, где элементы располагались в порядке возрастания их атомных масс. Ньюлендсом было обнаружено, что сходные по химическим свойствам элементы оказываются на одной горизонтальной линии.

В 1864 году Юлиус Лотар Мейер опубликовал таблицу, содержащую 28 элементов, размещенных в шесть столбцов согласно их валентностям, и намеренно ограничил число элементов в таблице, чтобы подчеркнуть закономерное изменение атомной массы в рядах сходных элементов.

Из вышесказанного очевидно, что Дж. Ньюлендса и Ю.Л. Мейера можно считать ближайшими предшественниками Д.И. Менделеева. В их работах были сделаны попытки классифицировать и систематизировать химические элементы, однако были получены лишь предварительные частичные результаты [3].

В марте 1869 года в статье Д.И. Менделеева «Соотношение свойств с атомных весов элементов» был сформулирован периодический закон изменения свойств химических элементов в зависимости от их атомной массы, представленный в виде периодической таблицы. В основу этой статьи было положено утверждение: «Элементы, расположенные по величине их атомного веса, представляют естественную периодичность свойств» [4. С. 19].

В своей работе «Основы химии» 1871 года Д.И. Менделеев следующим образом сформулировал основной закон периодичности: «Физические и химические свойства элементов, проявляющиеся в свойствах простых и сложных тел, ими образуемых, стоят в периодической зависимости (образуют периодическую функцию, как говорят в математике) от их атомного веса». И здесь же задался вопросом: «Рождаются невольно вопросы о том, что же такое выражает самый вес атомов, какая ближайшая причина зависимости свойств веса, почему малое изменение в весе атомов производит известное периодическое изменение в свойствах, и целый ряд тому подобных вопросов, которых решение даже гипотетическое, по нашему мнению, не под силу еще современной науке. В будущем, когда настанет черед решения и этих вопросов, можно ожидать и теоретического определения самих простых тел, подобно тому, как мы теоретически определяем уже сложные тела» [5. С. 297].

Причины периодичности сам Д.И. Менделеев пытался объяснить в своей статье 1902 года «Попытка химического понимания мирового эфира», используя в качестве первичной структуру эфира: «Словом, я не вижу никакой цели в преследовании мысли об единстве вещества, а вижу ясную цель как в необходимости признания единства мирового эфира, так и в реализации понятия о нём, как о последней грани того процесса, которым сложились все другие атомы элементов, а из них все вещества... Реального же понимания эфира нельзя достичь, игнорируя его химизм и не считая его элементарным веществом; элементарные же вещества ныне немыслимы без подчинения их периодической законности. <...> Атомы же эфира надо представить не иначе, как способными преодолевать даже солнечное притяжение, свободно наполняющими все пространство и везде могущими проникать. Этот элемент у, однако, необходим для того, чтобы умственно подобраться к тому наилегчайшему, а потому и наиболее быстро движущемуся элементу х, который,

по моему разумению, можно считать эфиром». В попытках найти элементы с такими свойствами Д.И. Менделеев преобразовал таблицу и выделил нулевую группу «инертных в химическом смысле элементов» [6. С. 26].

Таким образом, к середине XIX века была разработана феноменологическая классификация химических элементов, представленная Д.И. Менделеевым в виде периодической таблицы, основанной на зависимости свойств элемента от их атомного веса. На основе установленного закона удалось предсказать такие новые элементы, как галлий, германий и скандий, а также в дальнейшем группу инертных газов.

Но объяснения феномена периодичности Д.И. Менделеевым не было сделано, однако он все же полагал, что периодическую зависимость можно выразить алгебраически через некую периодическую функцию, но таковой так и не было найдено [7].

Вторая стадия

Ко второй стадии следует отнести попытки атомно-электронного объяснения периодичности физических и химических свойств элементов на базе квантовой механики и принципа Паули.

Необходимо отметить парадоксальный момент, что периодический закон как обобщение химии не мог быть объяснен в рамках самой химии. Объяснение периодичности стало возможным только после построения теории строения атома и установления квантовых законов движения электронов в атомах.

М.А. Ельяшевич в своей статье «Периодический закон Д. И. Менделеева, спектры и строение атома» [8] описывает историю открытия Д.И. Менделеевым периодического закона, а также историю развития представления о структуре атома, которая развивалась на основе периодического закона и экспериментов в области спектрального анализа атомов. Характерно, что периодический закон — это основа, на которой строилась атомная физика. Нильс Бор, один из создателей теории атома отмечал, что периодический закон служил «путеводной нитью» при создании теории атома. Обширный материал спектральных исследований был систематизирован с помощью периодического закона. Следует специально подчеркнуть, что физическое истолкование периодического закона, данное Бором, Паули и другими исследователями и опирающееся на закономерности в спектрах, полностью сохранилось и получило более глубокое обоснование. Вместе с тем надо отметить, что особо важную роль спектроскопия сыграла именно в период создания Бором его квантовой теории атома и истолкования на этой основе периодического закона [8; 9]. В настоящее время, хотя спектроскопия широко и успешно применяется для изучения строения атомов и молекул и для исследования элементарных процессов, в которых они участвуют, ее применение касается больше конкретных, а не общих принципиальных и фундаментальных вопросов периодического закона [10].

Приведем здесь коротко основные моменты квантово-электронной интерпретации периодической системы.

Для объяснения периодичности необходимо было располагать элементы не в порядке возрастания атомного веса (как сделал сам Менделеев), а в последовательности числу зарядов в атомном ядре, которое определяет число электронов в нейтральном атоме. Далее вставала задача установления возможных энергетических состояний электронов в атомах. Также возник вопрос о необходимости найти распределение электронов данного невозбужденного атома по ионизации состояний энергии, чтобы оно удовлетворяло принципу Паули, который говорит о том, что в каждом состоянии, характеризующемся четырьмя квантовыми числами, может быть только по одному электрону. Квантовые числа, которые характеризуют внешние степени свободы движения электрона, это главное (n), орбитальное (l) и магнитное (m) и еще одно квантовое число s , которое связано со значением спина [11].

Таким образом, в 1925 году В. Паули был сформулирован принцип, который объяснял, как происходит заполнение электронных оболочек в атомах. Похожесть свойств химических элементов определяется тем, что они имеют одинаковое строение внешних электронных оболочек. Но для многих электронов точное решение квантово-механической задачи оказалось невозможным даже в нерелятивистском приближении, поэтому для решения данной задачи стали использовать различные приближенные методы и определять новый видоизмененный порядок уровней [1].

В итоге при введении понятия «заряда ядра» периодический закон был сформирован следующим образом: «Свойства простых веществ, а также свойства и формы соединений элементов находятся в периодической зависимости от заряда ядра атомов элементов». На сегодняшний день не существует четкой зависимости от заряда, поэтому наиболее четкая формулировка периодического закона звучит как: «Большинство свойств химических элементов и их соединений находится в близкой к периодической зависимости от заряда соответствующих им нуклидов (атомных ядер)» [12].

Исходя из этого, существует три основных варианта табличного изображения системы химических элементов, которые располагаются в порядке увеличения заряда ядра атома, то есть 8-клеточный («короткопериодический»), 18-клеточный («длиннопериодический»), 32-клеточный («супердлиннопериодический»). О.В. Михайлов в своей работе «Великое наследие Д.И. Менделеева: эволюция периодического закона и системы химических элементов» предлагает 16-клеточный вариант [3]. Начиная с 1869 года было создано большое количество вариантов периодической таблицы химических элементов. Обзор различных видов таблиц представлен в ряде работ О.В. Михайлова и Саркисова [3; 13].

На сегодняшний день чаще используются два варианта таблицы Менделеева: «короткопериодический» и «длиннопериодический». В «короткопериодическом» – местонахождение конкретного химического элемента определяется двумя параметрами – зарядом Z , который совпадает с порядковым номером элемента, и его наивысшей возможной степенью окисления. Но, как отмечает О. В. Михайлов, степень окисления является свойством химического элемента, которое является следствием электронной структуры атомов

химических элементов [3]. Распределение электронов в атомах, которое определяет валентность и все химические свойства, а также то, как оптические, электрические, магнитные, кристаллографические и физические свойства связаны с электромагнитным взаимодействием электронов с ядром и друг с другом, определяется в основном зарядом ядра.

Таким образом, представляется электронно-квантовая интерпретация таблицы Менделеева, связанная именно с объяснением периодичности физических и химических свойств таблицы Менделеева, и в меньшей степени с возможностью прогноза. Данный этап ознаменовался предсказанием положения Гафния (№ 72) вне группы редких земель как гомолога Циркона.

Третья стадия, или ядерная периодичность

Третья стадия связана с развитием ядерной физики, а также развитием таких методов, как радиохимический анализ, хроматографический метод цвета и т.д. На основе ядерных реакций и радиохимического анализа продуктов ядерных превращений стали заполняться пробелы периодической системы. Были открыты Технеций (№ 43), Прометей (№ 61), Астатин (№ 85), Франций (№ 87). Также было выполнено удлинение периодической системы, то есть открытие трансурановых элементов с $Z > 92$ с использованием хроматографического метода. Данный этап также можно связать с накоплением и анализом закономерностей все увеличивающегося эмпирического материала, построением и предложением моделей ядра [1; 11; 14].

Здесь необходимо отметить, что сама первоначальная формулировка периодической системы основывалась на атомном весе, который является ядерной характеристикой. Как известно, атомный вес также возрастает с ростом заряда атомных ядер, и связано это с тем, что ядро состоит из протонов и нейтронов. И здесь стал возникать вопрос, почему не существует ядер из одних протонов или одних нейтронов, «почему при данном атомном номере, то есть числе протонов, допустимые числа нейтронов, определяющие атомные веса A изотопов данного элемента, лежат в некоторых весьма узких пределах» [1].

Следующий важный вопрос связан с тем, что в периодической системе таблицы Менделеева присутствуют аномалии. В некоторых случаях атомный вес предшествующего элемента больше последующего, так как у этих элементов есть некоторые изотопы. К примеру, атомный вес аргона Ar , из-за преобладания изотопа $Ar40$ больше среднего веса калия ($Z = 19$) с его доминирующим изотопом $K39$ (93,08 %) и присутствующими в незначительном количестве более тяжелыми изотопами $K40$ (0,0119 %) и $K41$ (6,91 %). Подобные аномалии также свойственны следующим элементам: $Co-Ni$, $Ti-J$, $Th-Pa$. Данные аномалии говорят о следующих проблемах: прежде всего, об определенной допустимости количества нейтронов N при данном A (атомное число) и количества протонов Z при данном A . Кроме того, следует иметь в виду, что процентное содержание изотопов, реально существующих в нашей части Вселенной, связано со сложнейшими причинами, действовавшими при

образовании элементов, и дальнейшими ядерными реакциями радиоактивного распада и деления, а также реакциями, вызванными столкновением с другими ядрами, в том числе с принадлежащими потоку ядер в космических лучах. Многими исследователями отмечалось и отмечается в настоящее время, что «менделеевская естественная» периодическая система элементов не может быть окончательно объяснена без сведений о происхождении элементов, концентрации, распространенности и других космохимических данных» [1; 15; 16]. Объяснение данных аномалий возможно только в рамках ядерной физики [1].

Необходимо отметить главный момент, что на данном этапе была вскрыта периодичность ядерных оболочек и модель ядерных оболочек, аналогичная модели атомных оболочек. В современной ядерной физике представлены два класса моделей ядра: микроскопический (рассматривающий поведение отдельных нуклонов в ядре) – это модель ядерных оболочек и коллективный (рассматривающий согласованное, скоррелированное движение больших групп нуклонов в ядре) – модель жидкой капли. Основной факт, подтверждающий оболочечное строение ядра, заключается в наличии «магических чисел» протонов и нейтронов [14].

Четвертая стадия

Четвертая стадия связана с решением задачи вывода масс частиц и строгого обоснования закономерностей как периодического закона таблицы Менделеева, так и обнаруженных видов адронов в рамках общепринятых представлений о сильных взаимодействиях.

Так, начиная с 1940-х годов в результате совершенствования техники эксперимента стало возрастать количество открытых адронов – частиц, участвующих в сильных взаимодействиях. Уже к 1960-м годам их число стало сравнимо с числом химических элементов в таблице Менделеева, а к середине 1960-х годов перевалило за 100. А к сегодняшнему дню уже насчитывается около 170 мезонов и 140 барионов. На сегодняшний день получилось так, что в фундаментальной физике отсутствует строгое обоснование закономерностей как периодического закона таблицы Менделеева, так и обнаруженных видов адронов.

В рамках стандартной модели (теоретико-полевого подход) все адроны классифицируются согласно кварковой модели. Но полное описание адронов и их свойств в терминах взаимодействующих кварков и глюонов пока развить не удалось. «Поэтому в ближайший период развития фундаментальной физики проблема понимания и исследования адронов останется одной из наиболее актуальных» [14].

Так, Гелл-Манн и Нееман подошли к проблеме классификации адронов, используя методы теории групп. Эти методы пришли из кристаллографии и стали интенсивно внедряться в квантовую физику [17; 18]. Так, в ряде работ Ю.Б. Румера, Б.Г. Конопельченко, А.И. Фета, Ю.И. Кулакова [19–25] был предпринят детальный анализ возникающих в рамках классификации теории групп и квантовых чисел правил классификации и размещения адронов

химических элементов. В работе Б.Г. Конопельченко и Ю.Б. Румера отмечено: «В то время как математический аппарат классификации в обоих случаях одинаков, свойства объектов, подлежащие классификации, существенно различны: для адронов – это физические свойства (масса), для химических элементов – это химические свойства. Аналогия между системами адронов и химических элементов представляется нам глубокой и может быть развита в самых разных направлениях». В этой работе также ставился вопрос: «...каково динамическое происхождение квантовых чисел?». Идею использования квантовых чисел в виде базиса, как переход к физической системе координат, высказывал в своей работе А. Эддингтон [26]. Но Эрвин Маделунг [27] первым применил водородные квантовые числа n, l, m, s для нумерации элементов периодической системы. Впоследствии теоретическое обоснование природы чисел Маделунга было дано Фетом с позиции теоретико-группового подхода. Модель, предложенная Румером–Фетом, описывает периодическую систему элементов как единую квантовую систему бесструктурных состояний [20].

В работах Ключковского числа Маделунга [28] представлены в другой интерпретации, где заполнение электронных уровней атома рассматривалось согласно правилу последовательного заполнения $(n+l)$ -группы Маделунга–Ключковского [28]. Идеи Румера–Фета продолжает развивать в своих работах В.В. Варламов, где выводит массы адронов [29]. При этом, как нам представляется, на сегодняшний день в рамках теоретико-группового описания не удалось найти связь между классификацией адронов и периодической таблицей химических элементов.

Пятая стадия

Пятая стадия развития периодического закона формируется в рамках реляционного подхода, развиваемого Ю.С. Владимировым [2]. Реляционный подход к физике основан на идеях, заложенных в трудах Г. Лейбница и Э. Маха. Таковыми являются, во-первых, вторичный характер классических пространственно-временных отношений, во-вторых, описание физических взаимодействий в рамках концепции дальнего действия и, в-третьих, использование принципа Маха. Поскольку в этом подходе отсутствует априорно заданное пространство-время, используется своя система понятий и закономерностей, присущая физике микромира. В качестве таковой используется теория бинарных систем комплексных отношений (БСКО) минимальных рангов, основы которой были заложены в теории физических структур Ю.И. Кулакова [30]. Использование реляционного подхода означает исключение понятий классического пространства-времени, а следовательно, и отказ от волновых дифференциальных уравнений Шредингера, Клейна–Фока, Дирака. Более того, поскольку нет непрерывного пространства-времени, нет и полей переносчиков взаимодействий в виде промежуточных бозонов (глюонов и др.), – им не по чему распространяться.

В реляционном подходе в основу обоснования периодической системы Менделеева положены закономерности именно теории сильных взаимодействий, которые описываются на основе БСКО ранга (4,4). В этой теории

элементы описываются комплексными 3-компонентными спинорами, а частицы определяются тремя 3-компонентными спинорами («кварками»). Свойства адронов предлагается описывать не взаимодействиями кварков через глюоны, как это принято в калибровочной хромодинамике, а на основе алгебраической классификации комплексных 3×3 -матриц, развитой в свое время А.З. Петровым для классификации пространств Эйнштейна. В работах Владимирово показано, что барионы описываются подтипом I первого типа по классификации Петрова, а мезоны описываются подтипами D и O. Подтип D соответствует случаю, когда два корня кубического характеристического уравнения совпадают, а подтип O соответствует совпадению всех трех корней.

Эти свойства сильных взаимодействий адронов было предложено распространить и на свойства атомных ядер, также определяемых сильными взаимодействиями. При этом было использовано то, что атомные ядра элементов можно рассматривать состоящими из протонов, связанных с ними таким же количеством нейтронов и дополнительных нейтронов. Наличие одинаковых количеств протонов и нейтронов было предложено связать с подтипом D в классификации Петрова, а следовательно, применить закономерности в описании мезонов к описанию свойств атомных ядер. Это позволило обосновать строки и количества элементов (по 8 и 10) в строках таблицы Менделеева. Более того, было показано, что имеются три ядерные структуры таблицы Менделеева: зарядовая (общепринятая), структура дополнительных нейтронов и структура энергий связи.

Ядерное (на основе закономерностей сильных взаимодействий) обоснование таблицы Менделеева сразу же вызывает принципиально важный вопрос в связи с тем, что таблица Менделеева создавалась Менделеевым на основе химических, то есть электромагнитных, свойств элементарных частиц. В работах Владимирово в рамках реляционного подхода предложено решение и этого вопроса. Для этой цели были рассмотрены характеристические уравнения комплексных 2×2 -матриц, соответствующих состояниям частиц в электромагнитных взаимодействиях, и было показано, что имеет место удивительное соответствие общих решений (подтипа II) характеристических уравнений 2×2 -матриц и решений подтипа D для 3×3 -матриц. Это фактически лежит в основе обоснования таблицы Менделеева. Из этого также следует, что на самом деле таблица Менделеева имеет 6 структур: три ядерные и аналогичные им 3 электромагнитные структуры. При этом проявляется удивительная аналогия нейтронов в сильных взаимодействиях и электронов в электромагнитных взаимодействиях.

Заключение

Из вышеизложенного следует ряд важных выводов.

1. Прежде всего, следует отметить, что использование реляционного подхода соответствует давно высказываемым соображениям известных авторов о том, что для описания физики микромира непригодны классические пространственно-временные представления. Они должны быть заменены

системой из более элементарных понятий и закономерностей, присущих физике микромира.

2. Вскрытая в рамках реляционного подхода аналогия между решениями характеристических уравнений 3×3 -матриц подтипа D и решениями подтипа II уравнений для 2×2 -матриц свидетельствует о том, что в конце концов должно было быть найдено обоснование периодической таблицы Менделеева и в рамках упомянутой выше второй стадии. Однако при этом опять должна была возникнуть проблема обоснования соответствия электромагнитных закономерностей с закономерностями сильных взаимодействий, определяющих структуру ядер. Как было указано выше, это достигается именно в рамках реляционного подхода.

3. Из изложенного выше также следует, что реляционный подход ставит задачи согласования третьей и четвертой стадий попыток обоснования периодической таблицы Менделеева с выводами реляционного подхода.

Литература

1. *Иваненко Д. Д.* Периодическая система химических элементов и атомное ядро // Дмитрий Иванович Менделеев. Жизнь и труды: сборник статей. М.: Изд-во Акад. наук СССР, 1957. С. 66–100.
2. *Владимиров Ю. С.* Реляционная картина мира. Книга третья: От состояний элементарных частиц к структурам таблицы Менделеева. М.: ЛЕНАНД, 2023. 219 с.
3. *Михайлов О. В.* Великое наследие Д. И. Менделеева: Эволюция периодического закона и системы химических элементов // Рос. хим. ж. 2019. Т. LXIII, № 1. С. 3–26.
4. *Менделеев Д. И.* Соотношение свойств с атомных весов элементов // Журнал Русского химического общества. 1869. Т. I. С. 4–20.
5. *Менделеев Д. И.* Избранные сочинения // Основы химии. Глава XXI. К истории периодического закона. ОНТИ -Госхимтехиздат, 1934. С. 282–298.
6. *Менделеев Д. И.* Попытка химического понимания мирового эфира. С.-Петербург: Типолитография М. П. Фроловой, 1905. С. 5–40.
7. *Левитан Б. М.* Почти периодические функции. М.: Гос. Изд. Тех.-Теор. Лит. 1956. 396 с.
8. *Ельяшевич М. А.* Периодический закон Д. И. Менделеева, спектры и строение атома // УФН. 1970. Т. 100. Вып. 1. С. 4–43.
9. *Бауэр Э.* Теория Бора. Строение атома и периодическая система элементов. Одесса: Гос. Изд. Украины, 1923.
10. *Зоммерфельд А.* Строение атомов и спектры. М.: Гос. изд. тех.-теор. лит., 1956. 592 с.
11. *Фигуровский Н. А.* Очерк общей истории химии. Развитие классической химии в XIX столетии. М.: Наука, 1979. 477 с.
12. *Еремин В. В., Дроздов А. А., Лукин В. В.* (ХИМИЯ 7 КЛАСС). Решебник ответы ГДЗ § 6 История создания Периодической системы химических элементов Д. И. Менделеева. М.: Дрофа, 2020. 190 с.
13. *Саркисов Ю. С., Горленко Н. П.* Развитие представлений о структуре таблицы химических элементов Д. И. Менделеева // Вестник ТГУ. Химия. 2020. № 10. С. 69–73.
14. *Ииханов Б. С., Капитонов И. М., Юдин Н. П.* Частицы и атомные ядра: учебник. Изд. 2-е, испр. и доп. М.: Изд. ЛКИ, 2007. 584 с.
15. *Чечев В. П., Крамаровский Я. М.* Радиоактивность и эволюция Вселенной. М.: Наука, 1978. 207 с.
16. *Ииханов Б. С., Капитонов И. М., Тутынь И. А.* Нуклеосинтез во Вселенной: учебное пособие. М.: URSS, 2019. 206 с.

17. *Gell-Mann M.* The eightfold way: A Theory of strong interaction symmetry. Report CTSL-20. Synchrotron laboratory. California Inst. of Technology, March 15, 1961. 47 p.
18. *Нееман Ю.* Вывод сильных взаимодействий из принципа калибровочной инвариантности // Элементарные частицы и компенсирующие поля: сборник статей. М.: МИР, 1964. С. 176–185.
19. *Румер Ю. Б.* Исследования по 5-оптике. М.: Гос. изд. тех.-теор. лит., 1956. 152 с.
20. *Конопельченко Б.Г., Румер Ю.Б.* Атомы и адроны (проблемы классификация). Новосибирск: ИЯФ СОАН СССР, 1973. 11 с.
21. *Фет А. И.* Конформная симметрия химических элементов // ТМФ. 1975. Т. 22, № 3. С. 323–334.
22. *Буаков В. М., Кулаков В. И., Румер Ю. Б., Фет А. И.* Group-theoretical Classification of Chemical Elements: Preprints ИТЕР No. 26–1. Physical Foundations. Moscow, 1976. 28 p.
23. *Конопельченко Б. Г., Румер Ю. Б.* Атомы и адроны (проблема классификации) // УФН. 1979. Т. 129, вып. 2. С. 339–345.
24. *Румер Ю. Б., Фет А. И.* Группа Spin (4) и таблица Менделеева // ТМФ. 1971. Т. 9. С. 203–209.
25. *Фет А. И.* Группа симметрии химических элементов. Новосибирск: Наука, 2010. 238 с.
26. *Eddington A.* Fundamental Theory. Cambridge University Press. Cambridge, 1946. 292 p.
27. *Маделунг Э.* Математический аппарат физики: справочное руководство. М.: Физматгиз, 1961. 620 с.
28. *Ключковский В. М.* Распределение атомных электронов и правило последовательного заполнения $(n+l)$ -групп. М.: Атомиздат, 1986. 432 с.
29. *Варламов В. В.* Теоретико-групповое описание периодической системы элементов: II. Таблица Сиборга // Математические структуры и моделирование. 2019. № 1 (49). С. 5–21
30. *Кулаков Ю. И.* Теория физических структур. М.: Доминико, 2004. 847 с.

THE PERIODIC TABLE OF CHEMICAL ELEMENTS AND THE PROBLEM OF ITS JUSTIFICATION

I.A. Babenko

*Institute of Gravity and Cosmology,
Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University)
3 Ordzhonikidze St, Moscow, 115419, Russian Federation*

Abstract. The article considers five stages in the history of the discovery and attempts to substantiate Mendeleev's periodic system of chemical elements. The first stage consists in the accumulation, systematic analysis of extensive empirical material and in the direct establishment of the periodic law of chemical elements by Mendeleev. At the second stage, attempts were made to atomic-electronic explanation of the periodicity of the physical and chemical properties of elements on the basis of quantum mechanics and the Pauli principle. The third stage is associated with the development of nuclear physics, as well as with the development of such chemical methods as radiochemical analysis, the chromatographic method of color, etc. At the fourth stage, a solution to the problem was proposed on the basis of group theory in the quantum mechanical understanding. The fifth stage is based on the relational substantiation of the periodic system of chemical elements of the Mendeleev's table, corresponding to the method of describing hadrons.

Keywords: Mendeleev's periodic table of chemical elements, standard model, field theory approach, relational approach, particles, chemical elements, substantiation of particle masses