

Дмитрий Иванович, МЕНДЕЛЕЕВ (1834 - 1907)

(художник И.Репин)

Эта история началась сто сорок лет тому назад ...

Таблица Менделеева. Сто сорок лет спустя

Периодический закон ждёт не только новых приложений, но и усовершенствований, подробной разработки и свежих сил.

- Менделеев (1834 -1907)

§ 1. Некоторые предварительные замечания.

Общепризнано, что Периодический закон Менделеева и его графическое выражение - Периодическая таблица химических элементов нужны для изучения их физико-химических свойств и выявления общих закономерностей их химических взаимодействий между собой, для химического предвидения и предсказания новых фактов.

Действительно, в настоящее время Периодическая система химических элементов является научной основой изучения важнейших свойств элементов и их соединений: кислотно-основных, окислительно-восстановительных, каталитических, комплексообразующих, полупроводниковых, металлохимических, кристаллохимических, радиохимических и т.п.

Однако значение Периодической таблицы химических элементов не ограничивается прикладными и полуприкладными областями физики и химии. Эта таблица может явиться "золотым ключиком", открывающим дверь, ведущую из эмпирического мира материальной действительности в мир новой реальности.

Несмотря на то, что с момента открытия Менделеевым Периодического закона химических элементов (1869) прошло почти сто сорок лет, до сих пор существует немало попыток уточнить и усовершенствовать его таблицу.

Многообразие вариантов вызвано стремлением разных авторов найти удовлетворительное решение некоторых спорных моментов в самой структуре Периодической таблицы химических элементов, существующих до сих пор.

Однако, казалось бы, частная задача усовершенствования хорошо известной таблицы Менделеева может стать частью общей научно-философской проблемы огромной важности, если взглянуть на неё свежим взглядом современного физика-теоретика, отыскивающего в природе всё более скрытые и всё более фундаментальные симметрии для того, чтобы понять не только **как** устроен наш мир, но и **почему** он устроен именно таким образом.

За истекшие 140 лет Периодический закон, открытый Менделеевым не только не устарел и не утратил своего значения. Наоборот, развитие науки показало, что его значение ещё до конца не понято и не завершено, что оно много шире, чем мог предполагать его творец, чем представляют себе многие современные учёные.

И теперь, спустя многие годы, по-прежнему справедливы полные достоинства слова самого Менделеева: "вышеизложенное содержит не всё то, что увидели до сих пор через телескоп периодического закона в безграничной области химических эволюции, и тем паче не всё то, что можно ещё увидеть"

С 1921 года, когда Нильс Бор заложил основы квантово-механического объяснения Периодической системы химических элементов Менделеева, прошло почти восемьдесят пять лет. За это время в физике произошли революционные изменения, сравнимые с теми, которые совершались во время создания теории относительности и квантовой механики.

Для современной физики очень важным стало понятие **симметрии**. Именно симметрия стала тем самым инструментом, используя который удаётся выявить в калейдоскопе физических явлений основные структуры, свести всё разнообразие физического мира к нескольким фундаментальным уравнениям.

Предлагаемые нами две Таблицы химических мультиплетов представляют собой дальнейшее развитие на феноменологическом уровне оригинальных идей известного советского физика Ю.Б.Румера и математика А.И.Фета, предложивших изучать свойства химических элементов по аналогии с элементарными частицами с точки зрения их "внутренней" симметрии.

Следует отметить, что для понимания общего принципа, лежащего в основе предлагаемой Таблицы, нет необходимости в знании квантовой механики.

Согласно этому принципу каждый атом рассматривается как возбуждённое состояние некоторой **универсальной протоматерии**. И подобно тому, как в современной теории элементарных частиц ничего не говорится о внутреннем строении частиц, так и здесь, для установления общих свойств атомов и их классификации нет необходимости рассматривать их электронное строение.

Дело в том, что наиболее общие свойства атомов заложены глубже - в самой их первоначальной симметрии и могут быть извлечены оттуда с помощью **полуфеноменологического формализма изотопического спина**, основные идеи которого могут быть сделаны доступными ученику средней школы.



Новосибирский государственный университет, где была создана Новосибирская таблица химических мультиплетов

Заметим, что создание двух принципиально новых современных Таблиц химических мультиплетов началось в начале семидесятых годов в стенах Новосибирского университета (в работах Ю.Б.Румера, А.И.Фета и Ю.И.Кулакова) и окончательно завершилось в 1995 году в нашей работе, сделанной в Горно-Алтайском государственном университете.

Предлагаемые нами Таблицы химических мультиплетов опубликованы в двух сборниках научных трудов:

Структурный анализ символьных последовательностей (Изд-во Академии наук СССР. Сибирское отделение, Институт математики. 1984 год);

Классическое естествознание и современная наука (Изд-во Новосибирского государственного университета. 1991 год).

Однако малый тираж этих изданий и очень небольшой круг читателей делают практически неизвестными эти Таблицы.



Горно-Алтайский государственный университет, где была создана Горно-Алтайская таблица химических мультиплетов

Существует традиция включать в название некоторых вновь открытых химических элементов наименование стран и городов, так или иначе связанных с историей их открытия.

Так, например:

скандий Sc назван в честь Скандинавии,

галлий Ga назван в честь Франции (средневековое латинское название *Hallia*),

германий Ge назван в честь Германии,

рутений Ru назван в честь России (лат. *Ruthenia*) его первооткрывателем, проф. Казанского университета Карлом Клаусом¹,

¹ Заметим, что название химического элемента *самария* Sm не имеет никакого отношения к городу Самаре. Он назван так в честь начальника штаба Корпуса горных инженеров, полковника Самарского-Быховца, предоставившего профессору Берлинского университета Розе для исследования образец уральского минерала.

лютеций Lu назван в честь столицы Франции - Парижа (средневековое латинское название Lutetia),

гафний Hf назван в честь столицы Дании - Копенгагена (средневековое латинское название Hafnia),

рений Re назван в честь Рейнской провинции, родины его первооткрывательницы Иды Ноддак,

полоний Po назван в честь Польши (лат. Polonia), родины его первооткрывательницы Марии Склодовской-Кюри,

франций Fr назван в честь Франции, родины его первооткрывательницы Маргариты Пере,

европий Eu назван в честь Европы,

гольмий Ho назван в честь Стокгольма - столицы Швеции (лат. Holmia),

тулий Tm назван в честь Скандинавии (средневековое латинское название - Thule),

иттербий Yb, *тербий* Tb, *иттрий* Y и *эрбий* Er названы в честь маленького шведского местечка Иттербю,

америций Am назван в честь Америки, подобно тому как его редкоземельный "брат" получил своё название в честь Европы,

берклий Bk назван в честь Беркли - маленького пригорода Сан-Франциско, города учёных и студентов,

калифорний Cf назван в честь Калифорнийского университета, где были получены его первые атомы.

Аналогичным образом маленький немецкий городок Эрланген был увековечен в названии Эрлангенской программы Клейна.

Перенесём эту традицию на названия двух форм Таблицы химических мультиплетов, явившейся окончательным итогом нашей многолетней работы.

Первую, "ступенчатую" таблицу химических мультиплетов, внешне напоминающую древнеавилонский зиккурат, назовём

Новосибирской таблицей химических мультиплетов

в честь Новосибирского государственного университета, в котором мы втроём (Ю.Б.Румер, А.И.Фет, Ю.И.Кулаков) начинали работу над созданием этой Таблицы.

Вторую, "треугольную" таблицу мы предлагаем назвать

Горно-Алтайской таблицей химических мультиплетов

в честь Горно-Алтайского государственного университета, в котором нами была найдена её окончательная идеальная форма, и в котором идеи физических структур получили своё дальнейшее развитие в моих трудах и в двух монографиях моего талантливого ученика доктора физ.-мат. наук, профессора Г.Г.Михайличенко, а также в аспирантских и студенческих работах наших учеников уже второго и третьего поколений.

§ 2. От Периодической таблицы химических элементов к Таблице химических мультиплетов.

Читатель, приступающий к изучению этой статьи, подготовлен вековыми традициями — физикой, которой он обучался в школе и в университете. Он привык мыслить образами, оперировать наглядными представлениями, опираясь на традиционное физическое мировоззрение, и не будем отучать его от этого, не говоря уже — вооружать его против этого. Переход к новому физическому мышлению мы будем осуществлять по-возможности постепенно и гладко.

— Автор

Согласно традиции, идущей от Менделеева, рассматриваются свойства каждого химического элемента в отдельности и ищется такая форма классификации элементов, при которой естественным, путём выделяются, подмножества элементов с близкими физико-химическими свойствами (главные и побочные подгруппы - столбцы на традиционной таблице Менделеева).

Значение Периодической системы элементов для химиков состоит в существовании некоторого общего правила, по которому получаются гомологические ряды, содержащие химические элементы с близкими физико-химическими свойствами.

Мы отступаем от этой традиции и в качестве основных объектов классификации выбираем не отдельные химические элементы, конкретные свойства которых нас, в отличие от химиков, мало интересуют, а их совокупности - **мультиплеты**, обладающие определённой целостностью, то есть блоки, состоящие из конечного числа рядом расположенных элементов.

Итак, принципиальное отличие предлагаемой нами Новосибирской таблицы химических мультиплетов от всех других известных периодических таблиц состоит в том, что наша Таблица - это **не таблица химических элементов, а таблица химических мультиплетов**.

Значение таблицы Менделеева состоит в том, что она предоставляет нам уникальную возможность взглянуть на множество всех химических элементов как на единую систему, состоящую из различных **химических таксонов**² или блоков, то есть совокупностей химических элементов с атомными номерами Z , лежащими в конечных интервалах от Z_1 до Z_2 . При этом для характеристики тех или иных таксонов необходимо вводить физические величины принципиально иной природы.

В отличие от традиционных непосредственно измеряемых физических ве-

² таксон (от лат. taxare - оценивать) - соподчинённая группа дискретных объектов, связанных между собой той или иной степенью общности свойств. Иерархическая система таксонов позволяет дать полное описание определённой сферы реальности с точки зрения её иерархического строения.

личин, таких как масса, электропроводность, температура плавления и кипения, потенциал ионизации, магнитная восприимчивость и т.п., существуют такие "коллективные" физические величины как изотопический спин T , странность S , очарование (чарм) C , красота B , истинность t , гиперзаряд Y , барионное B и лептонное L числа и т.п., которые имеют совершенно иную природу, и не могут быть измерены непосредственно традиционными методами.

Чтобы выявить глубинное содержание, скрытое за внешней и далеко не совершенной формой Периодической таблицы химических элементов Менделеева, воспользуемся тем, что лежит буквально на поверхности и давно всем хорошо известно.

§ 3. Естественная эволюция формы таблицы химических элементов.

Основная идея лежащая в основании Периодической системы химических элементов, состоит в следующем: Периодическая таблица Менделеева разбивает естественную последовательность химических элементов на отдельные **мультиплеты**, отмеченные разным цветом.

Отметим особую роль цвета при построении всех последующих таблиц. Дело в том, что **цвет** в этом случае играет роль некоторого квантового числа, который позволяет увидеть³ на таблице четыре типа мультиплетов - играющих роль своеобразных "химических хромосом": красные, состоящие из **двух** элементов, жёлтые, состоящие из **шести** элементов, зелёные, состоящие из **десяти** элементов, и, наконец, синие, состоящие из **четырнадцати** элементов, и осуществить разделение всего множества химических элементов, соответственно, на четыре (при $Z \leq 120$) "химических царства"⁴: красное, жёлтое, зелёное, синее.

На традиционной чёрно-белой таблице разделение всей последовательности химических элементов на мультиплеты затруднено ещё и тем, что длинные мультиплеты, состоящие из десяти элементов, чтобы быть втиснутыми в прямоугольную форму таблицы, оказываются разрезанными в самом неподходящем месте,

³ Использование цвета в данном случае можно сравнить с применением специальных красителей в гистологии, позволяющих увидеть в оптический микроскоп *хроматины*, составляющие основу хромосом, которые в противоположность *ахроматинам* хорошо окрашиваются при гистологической обработке.

⁴ Термин "химическое царство" введён нами по аналогии с биологической таксономией, где имеется следующая иерархическая структура порядка:

надцарства (прокариоты, эукариоты),
царства (вирусы, дрожанки, грибы, растения и животные),
подцарства (... , низшие, высшие, ... , одноклеточные, многоклеточные, ...).
отделы (*раст.*) (... , цветковые, ...) или типы (*жив.*),
классы (... , однодольные, ...).
порядки (*раст.*) (... , коммлеминовые, ...) или отряды (*жив.*),
семейства (... , злаки, ...).
роды (... , кукуруза, ...)
виды (... , кукуруза жёлтозернистая, ...).

и вследствие этого сам факт существования химических мультиплетов не бросается в глаза. На цветной же таблице это хорошо видно.

Короткая периодическая таблица химических элементов Менделеева

Периоды	Ряды	Г р у п п ы э л е м е н т о в									
		I a b	II a b	III a b	IV a b	V a b	VI a b	VII a b	VIII a b b ₁ b ₂		
1	1	H							He		
2	2	Li	Be	B	C	N	O	F	Ne		
3	3	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar		
4	4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni
	5	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr		
5	6	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd
	7	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe		
6	8	Cs	Ba	La-Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt
	9	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn		
7	10	Fr	Ra	Ac-Lr	Ku	Ns	106	107	108	109	110

La-Lu	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
-------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Ac-Lr	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr
-------	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

При этом возникает естественный вопрос: как разбить эмпирическую последовательность химических элементов на **мультиплеты** ("химические хромосомы"), которые на всех наших таблицах окрашены четырьмя различными цветами — красным, жёлтым, зелёным, синим и фиолетовым?

Как будет показано в этом параграфе, наличие мультиплетов уже заложено в самой Периодической таблице элементов Менделеева. Задача в том, чтобы извлечь их оттуда. Как это сделать?

Ответом на этот вопрос служит этот параграф, посвященный преобразованию традиционной формы Периодической таблицы химических элементов в Новосибирскую таблицу химических **мультиплетов**.

Сначала, чтобы иметь хотя бы грубое представление о **химических мультиплетах**, мы будем использовать терминологию, уже сложившуюся в квантово-механической теории Бора периодической таблицы элементов и обозначать

красным цветом - s-элементы ($\ell = 0$),
 жёлтым цветом - p-элементы ($\ell = 1$),
 зелёным цветом - d-элементы ($\ell = 2$),
 синим цветом - f-элементы ($\ell = 3$)

Но потом, в четвёртом параграфе, мы увидим, что за этим понятием скрывается иная, более глубокая сущность.

Как будет показано в четвёртом параграфе, элементы, принадлежащие

к "красному" царству, имеют изотопический спин $T = 0$,
 к "жёлтому" царству, имеют изотопический спин $T = 1$,
 к "зелёному" царству, имеют изотопический спин $T = 2$,
 к "синему" царству, имеют изотопический спин $T = 3$.

Отметим, что введение *четырёх* цветов имеет принципиальное значение. Тем самым указывается на существование четырёх "химических царств", к одному из которых принадлежит каждый из первых ста двадцати химических элементов.

Заметим, что ещё неоткрытые химические элементы с $121 \leq Z \leq 138$ принадлежат уже к качественно новому "фиолетовому" химическому царству с изотопическим спином $T = 4$ (по традиционной терминологии к множеству g -элементов с $\ell = 4$).

Появление в короткой таблице химических элементов Менделеева главных и побочных подгрупп а и b, а также неестественной восьмой группы VIII, состоящей из одной главной aVIII и трёх побочных подгрупп - триады VIIIb₁, VIIIb₂, VIIIb₃, является типичным артефактом⁵ и связано с желанием сохранить первоначальную прямоугольную форму таблицы, предложенной Менделеевым, что делает её излишне громоздкой и сложной.

Этой неоправданной сложности можно избежать, если перейти от исторически возникшей короткой таблицы Менделеева к Удлиненной периодической таблице химических элементов, раздвинув её на десять столбцов.

Кстати говоря, именно эта Периодическая таблица химических элементов рекомендована в 1985 году Ассоциацией научного образования (ASE) и с тех пор широко используется в мировой физико-химической литературе [8], [9].

Прежде всего в Удлиненной таблице нет рядов, так как каждый период располагается в одной горизонтальной строке.

Далее, в Удлиненной таблице нет необходимости расщеплять группу на главную и побочную, так же как нет необходимости рассматривать неестественную восьмую группу с её триадой побочных подгрупп.

Правда при этом почти вдвое возрастает число групп, а следовательно и её горизонтальные размеры, что делает её достаточно громоздкой. По-видимому из-за этого Удлиненная таблица, несмотря на её очевидные достоинства, не получила широкого распространения в отеческой физической и химической литературе.

⁵ *артефакт* (от лат. artefactum - искусственно сделанное) - образование, не свойственное изучаемому объекту и возникающее обычно в ходе его исследования.

Удлинённая таблица химических элементов.

Н																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	*	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	* *	Ku	Ns	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118

* La Ce Pr Nd Pm Sm Eu Gd Tb Dy Ho Er Tm Yb Lu

*
* Ac Th Pa U Np Pu Am Cm Bk Cf Es Fm Md No Lr

Однако и в этой Удлинённой таблице остаются некоторые неувязки, среди которых прежде всего бросается в глаза необходимость по-прежнему втискивать пятнадцать элементов - лантан и четырнадцать лантаноидов и другие пятнадцать элементов - актиний и четырнадцать актиноидов в соответствующие две клетки.

Длинная форма Периодической таблицы химических элементов

Н																	He														
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne														
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar														
K	Ca											Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr				
Rb	Sr											Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe				
Cs	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Ku	Ns	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118

Чтобы преодолеть и эту трудность, придётся раздвинуть Удлиненную таблицу ещё на 14 клеток и получить Длинную периодическую таблицу химических элементов:

Итак, Длинная таблица стала более совершенной. Однако и здесь осталось три тёмных пятна, которые нарушают желанную симметрию таблицы:

1. В отличие от всех остальных элементов, объединённых в соответствующие мультиплеты, содержащие 2, 6, 10, 14, 18 элементов, **водород** и **гелий** по-прежнему остаются "единоличниками".

Существуют хорошо известные трудности с определением положения водорода H^1 в таблице. С одной стороны он возглавляет таблицу и как s-элемент должен находиться в первой главной подгруппе Ia вместе с другими s-элементами. С другой стороны, он по своим физико-химическим свойствам должен находиться в седьмой главной подгруппе $VIIa$ галогенов.

Подобные же трудности возникают при определении положения в таблице **гелия** He^2 . По своим физико-химическим свойствам он должен возглавлять восьмую главную подгруппу $VIIIa$ инертных газов. С другой стороны, он является s-элементом, в то время как все остальные инертные газы являются р-элементами.

2. Кажется неестественным такое расположение мультиплетов, при котором возникают пустые места - разрывы между ними. Неестественным кажется существование первого и единственного сверхкороткого периода, состоящего из водорода и гелия, разъединённых пустыми клетками.

3. Кажется странным и труднообъяснимым наличие **нерегулярного** расположения мультиплетов, начиная с четвёртой строки:

$$1 - 1, \quad 2 - 6, \quad 2 - 6, \quad 2 - 10 - 6, \quad 2 - 10 - 6, \quad 2 - 14 - 10 - 6, \\ 2 - 14 - 10 - 6$$

Чтобы придать Длинной таблице более естественный и симметричный вид, свободный от указанных выше недостатков, преобразуем, сохраняя порядок следования мультиплетов, Длинную таблицу в Новосибирскую таблицу химических мультиплетов по следующей схеме:

объединим водород и **гелий** в один двухэлементный мультиплет и переместим все остальные двухэлементные мультиплеты с левого края таблицы на правый край при одновременном их перемещении на одну строку вверх.

Таким образом оказалось возможным, не строя никаких гипотез ("гипотез не измышляю!") только лишь за счёт нескольких естественных шагов преобразовать прямоугольную таблицу Менделеева в **треугольную ступенчатую таблицу** - Новосибирскую таблицу химических мультиплетов.

При этом сохраняется общее правило заполнения этой таблицы химическими элементами при последовательном увеличении их атомного номера Z :

слева \rightarrow направо сверху \downarrow вниз.

Новосибирская таблица химических мультиплетов

H	He
---	----

Li	Be
----	----

B	C	N	O	F	Ne	Na	Mg
---	---	---	---	---	----	----	----

Al	Si	P	S	Cl	Ar	K	Ca
----	----	---	---	----	----	---	----

Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	Rb	Sr
----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	Cs	Ba
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----

La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Ku	Ns	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120
----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Ступенчатая таблица химических мультиплетов

¹ H

² He

³ Li

⁴ Be

⁵ B	⁷ N	⁹ F
⁶ C	⁸ O	¹⁰ Ne

¹¹ Na

¹² Mg

¹³ Al	¹⁵ P	¹⁷ Cl
¹⁴ Si	¹⁶ S	¹⁸ Ar

¹⁹ K

²⁰ Ca

²¹ Sc	²³ V	²⁵ Mn	²⁷ Co	²⁹ Cu
²² Ti	²⁴ Cr	²⁶ Fe	²⁸ Ni	³⁰ Zn

³¹ Ga	³³ As	³⁵ Br
³² Ge	³⁴ Se	³⁶ Kr

³⁷ Rb

³⁸ Sr

³⁹ Y	⁴¹ Nb	⁴³ Tc	⁴⁵ Rh	⁴⁷ Ag
⁴⁰ Zr	⁴² Mo	⁴⁴ Ru	⁴⁶ Pd	⁴⁸ Cd

⁴⁹ In	⁵¹ Sb	⁵³ I
⁵⁰ Sn	⁵² Te	⁵⁴ Xe

⁵⁵ Cs

⁵⁶ Ba

⁵⁷ La	⁵⁹ Pr	⁶¹ Pm	⁶³ Eu	⁶⁵ Tb	⁶⁷ Ho	⁶⁹ Tm
⁵⁸ Ce	⁶⁰ Nd	⁶² Sm	⁶⁴ Gd	⁶⁶ Dy	⁶⁸ Er	⁷⁰ Yb

⁷¹ Lu	⁷³ Ta	⁷⁵ Re	⁷⁷ Ir	⁷⁹ Au
⁷² Hf	⁷⁴ W	⁷⁶ Os	⁷⁸ Pt	⁸⁰ Hg

⁸¹ Tl	⁸³ Bi	⁸⁵ At
⁸² Pb	⁸⁴ Po	⁸⁶ Rn

⁸⁷ Fr

⁸⁸ Ra

⁸⁹ Ac	⁹¹ Pa	⁹³ Np	⁹⁵ Am	⁹⁷ Bk	⁹⁹ Es	¹⁰¹ Md
⁹⁰ Th	⁹² U	⁹⁴ Pu	⁹⁶ Cm	⁹⁸ Cf	¹⁰⁰ Fm	¹⁰² No

¹⁰³ Lr	¹⁰⁵ Ns	107	109	111
¹⁰⁴ Ku	106	108	110	112

113	115	117
114	116	118

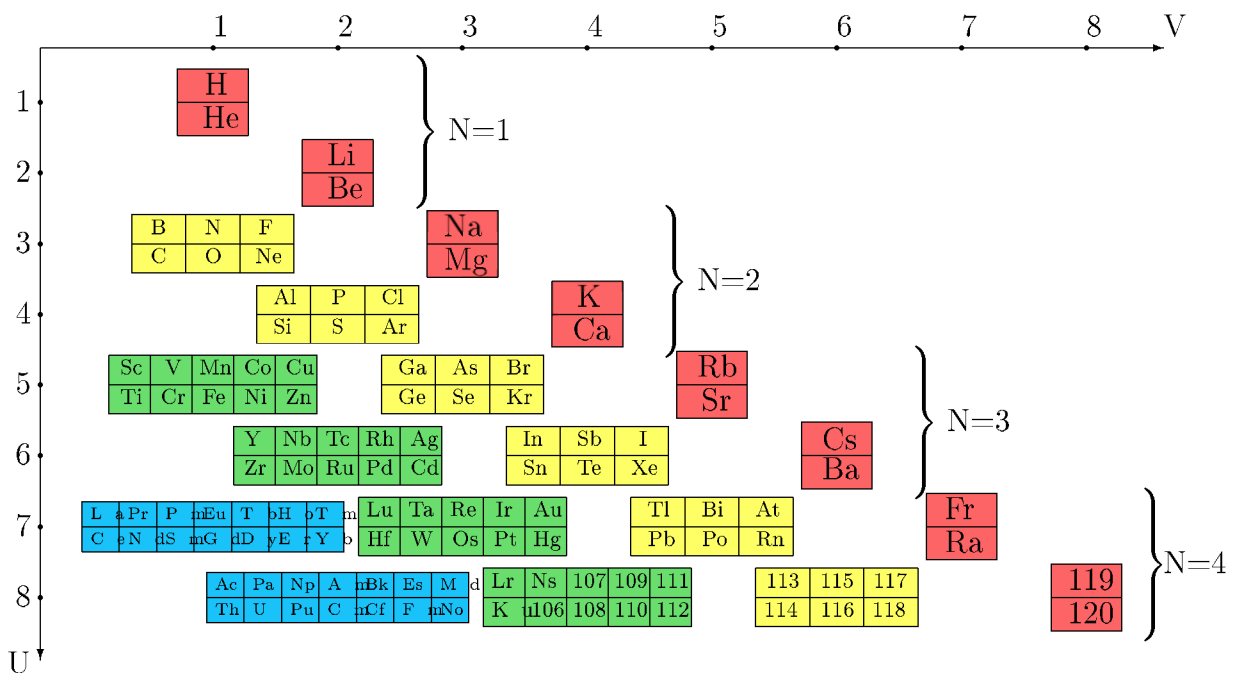
119

120

Следующий шаг - разбиение исходной последовательности химических элементов на дублеты - пары, состоящие из рядом стоящих элементов с нечётными и чётными Z . В результате чего Новосибирская таблица химических мультиплетов превращается в Ступенчатую таблицу химических мультиплетов.

Выравнивая Ступенчатую таблицу по левому краю и сдвигая чётные строки на одно деление вправо относительно нечётных, то есть переходя от координат (T,U) к координатам (U,V) , получаем окончательную Горно-Алтайскую таблицу химических мультиплетов:

Горно-Алтайская таблица химических мультиплетов



§ 5. В итоге имеем...

Итак, мы видим, что Периодическая таблица элементов Менделеева разбивает всю последовательность химических элементов на отдельные блоки — таксоны:

химические элементы,

химические дублеты, состоящие из двух химических элементов;

химические мультиплеты, состоящие из $2T + 1$ химических дублетов;

супермультиплеты, состоящие из N мультиплетов, и наконец

гипермультиплеты, состоящие из двух супермультиплетов. Именно в этом и состоит, на наш взгляд, наиболее важное общенаучное значение Периодической таблицы химических элементов.

Подведём некоторые итоги:

1. Основными таксонами - главными объектами классификации множества химических элементов являются не сами элементы, а химические мультиплеты.

2. Естественной является не традиционная прямоугольная, а **треугольная** форма таблицы.

3. В целом Горно-Алтайская таблица химических мультиплетов напоминает план некоторого "химического" Академгородка, застроенного двухэтажными 1-, 3-, 5-, 7-, 9-подъездными домами-мультиплетами.

4. Этот "химический" Академгородок тщательно распланирован и напоминает шахматную доску, повернутую на 45 градусов. Все дома-мультиплеты, расположенные на чёрных клетках, образуют две системы рядов:

★ горизонтальные "суперавеню" — химические супермультиплеты с порядковыми номерами

$$U = 1, 2, 3, \dots$$

★ ортогональные к ним вертикальные "улицы" с порядковыми номерами

$$V = 1, 2, 3, \dots$$

★ расположенные по диагонали "проспекты" с порядковыми номерами

$$T = \frac{1}{2}(U - V)$$

★ ортогональные к ним "переулки" с порядковыми номерами

$$q = \frac{1}{2}(U + V) = 1, 2, 3, \dots$$

5. Важной особенностью Горно-Алтайской таблицы является существование *гипермультиплетов*, состоящих из двух супермультиплетов, требующих введения **двух новых квантовых чисел**

$$\Delta = 1/2$$

$$\Delta_3 = -1/2, 1/2,$$

появление которых невозможно с точки зрения традиционной квантово-механической модели атома.

Итак, два соседних супермультиплета образуют гипермультиплет - своего рода "район" или "зону" химического Академгородка, состоящие из двух параллельных "суперавеню", с порядковым номером

$$N = 1, 2, 3, \dots$$

Верхний супермультиплет (верхняя "суперавеню") характеризуется полуцелым числом

$$\Delta_3 = -1/2;$$

нижний супермультиплет (нижняя "суперавению") - полуцелым числом

$$\Delta_3 = 1/2.$$

6. Мультиплеты, входящие в состав верхнего и нижнего супермультиплета, характеризуются **изотопическими спинами**:

$$T = N - 1, N - 2, \dots, 1, 0.$$

7. Каждый мультиплет состоит из $2T + 1$ "двухэтажных" химических дублетов.

8. Каждый химический дублет, входящий в мультиплет с изотопическим спином T , характеризуется целым числом T_3 , принимающим следующие значения:

$$T_3 = -T, \dots, -1, 0, 1, \dots, T.$$

9. Верхний этаж; дублета занимает химический элемент с нечётным атомным номером

$$Z = 2W - 1,$$

который характеризуется полуцелым числом

$$\sigma_3 = -1/2;$$

нижний этаж; занимает химический элемент с чётным атомным номером

$$Z = 2W,$$

$$\sigma_3 = 1/2 :$$

который характеризуется

A^{2W-1}	$\sigma_3 = -1/2$
A^{2W}	

 $\sigma_3 = 1/2$ полуцелым числом

где $W = 1, 2, 3, \dots$ — порядковый номер дублета в исходном множестве химических элементов.

10. Заселение домов-мультиплетов химическими элементами в порядке возрастания атомного номера Z **происходит без единого нарушения установленного правила**, столь характерных для традиционной квантово-механической трактовки Периодической таблицы химических элементов Менделеева.

Последовательное заселение происходит в мультиплетах, принадлежащих супермультиплетам с фиксированным номером U в порядке возрастания порядковых номеров "улиц" V

Переход в следующий супермультиплет осуществляется только после **полного** заселения последнего мультиплета на предыдущей "суперавению".

11. Мультиплет с порядковыми номерами $U = 1$ и $V = 1$ (одиозные **водород** и **гелий**) является единственным химическим мультиплетом, играющим роль выделенного "нулевого дублета".

12. Все химические мультиплеты, имеющие одинаковый изотопический спин T , (то есть число "подъездов" $2T + 1$) **химически подобны**. Это означает, что физико-химические свойства, входящих в мультиплет элементов, могут существенно зависеть от чисел T_3 и σ_3 (при фиксированном значении T), но слабо зависят от порядкового номера "переулка"

$$q = \frac{1}{2}(U + V).$$

Грубо говоря, для того, чтобы знать свойства всех химических элементов, достаточно знать свойства элементов, входящих в мультиплеты, расположенные в начале каждого супермультиплета, то есть в мультиплеты с $V = 1$

Другими словами, обнаруженные Менделеевым химические аналоги, расположенные в главных или побочных подгруппах таблицы Менделеева, в Горно-Алтайской таблице химических мультиплетов располагаются на прямых, параллельных главной диагонали $U = V$

§ 6. Физические величины двух типов: подлинно физические (наблюдаемые) и условно-физические (ненаблюдаемые).

До сих пор периодическая таблица химических элементов Менделеева рассматривалась исключительно с точки зрения периодической зависимости физико-химических свойств элементов от их атомного номера Z

Однако эта таблица содержит в себе гораздо более важный в принципиальном отношении факт - существование новых **условно-физических (ненаблюдаемых)** величин N, U, V, T, \dots , характеризующих *иерархическую структуру порядка* всего множества химических элементов и играющих важную роль при описании общих свойств химических элементов.

Новосибирская и Горно-Алтайская таблицы химических мультиплетов позволяют взглянуть на множество всех химических элементов как на единое целое и увидеть его внутренние законы, которым подчиняется всё множество элементов, и которые **не могут быть получены из квантово-механической модели отдельного атома**.

Для описания этих законов нужны новые физические величины принципиально иной природы.

Все физические величины можно разбить на два класса:

1. подлинно физические (наблюдаемые)
2. условно-физические (ненаблюдаемые)

Подлинно физические величины характеризуют отношения между физическими объектами и произвольно выбранными соответствующими эталонами.

Произвол выбора эталона находит своё отражение в наличии различных физических единиц измерения. В результате этого для физических величин этого

рода характерно существование **размерности** и численных значений, определяемых с конечной **ошибкой измерения**.

Условно-физические величины в конечном итоге связаны с **целыми числами** возможных состояний, в которых может находиться та или иная физическая система.

В связи с этим отпадает необходимость в выборе эталонов и в использовании измерительных приборов. Таким образом условно-физические величины **безразмерны** и имеют **точные** целые или дробные (как правило полуцелые) численные значения.

В качестве примеров такого рода условно-физических величин можно привести

изотопический спин T и его проекцию T_3 , барионный заряд B , гиперзаряд Y , лептонный заряд L , странность (strange) S , очарование (charm) c , красоту (beauty) b , истинность (truth) t и т. п.

Факт существования двух типов физических величин: *наблюдаемых* и *ненаблюдаемых* можно трактовать в пользу разделения теоретической физики на две части - пространственно-временную или "дольнюю" и структурно-симметричную или "горнюю".

Понятия дольней теоретической физики допускают интерпретацию на языке наглядных, хотя и не всегда адекватных моделей, в основе которых лежат **пространственно-временные и импульсно-энергетические представления**.

Ключевыми словами дольней теоретической физики являются: *координата и время, импульс и энергия, момент импульса, взаимодействие, законы сохранения, группа трёхмерных вращений $SO(3)$, группа движения $M(3)$, группы Лоренца и Пуанкаре, вероятность, волновая функция, гамильтониан, волна, частица, постоянная Планка \hbar , постоянная скорость света c и т.д.*

Абстрактные понятия горней теоретической физики, будучи **прообразами** понятий дольнего мира, требуют для своего описания другого языка, не сводимого к наглядным пространственно-временным и энергетическим моделям.

В частности, таким языком является, с одной стороны, язык теории физических структур, а с другой - язык представлений групп симметрии - своеобразной "горней" квантовой механики⁶ без гамильтониана и без постоянной Планка \hbar

Применение такого термина будет оправдано, когда мы обнаружим в теории представлений групп все характерные признаки квантово-механического описания:

векторы состояния ψ в гильбертовом пространстве \mathfrak{X} , эрмитовы операторы условно-физических величин, перестановочные соотношения базисных матриц алгебры Ли, унитарные операторы T_g в \mathfrak{X} , сохраняющие скалярное произведение

⁶ Многие трудности понимания и изложения традиционной ("дольней") квантовой механики отпадут сами собой, если ей будет предшествовать, как это предполагается сделать в курсе теоретической физики Ю.И.Кулакова, изложение "горней" квантовой механики.

$$\langle T_g \phi | T_g \psi \rangle = \langle \phi | \psi \rangle .$$

Ключевыми словами горней теоретической физики, кроме уже приведённых выше, являются:

абстрактные понятия теории физических структур, а также симметрия, калибровочная инвариантность, группы $SU(2)$, $SU(3)$, $SU(6)$, $SO(4)$, $SO(4, 2)$ и т.п., представления групп, алгебры Ли, матрицы Окубо A_i^j и Гелл-Манна λ_k , оператор Казимира, обычный и изотопический спины, электрический заряд, странность, очарование, красота и т.д.

Отметим, что среди ключевых слов горней теоретической физики мы не встретим таких понятий как энергия, импульс, взаимодействие, гамильтониан.

После всего сказанного возникает естественный вопрос: к какому разделу теоретической физики относится проблема классификации элементарных частиц и химических элементов? Применима ли здесь традиционная квантовая механика?

§ 7. О неприменимости традиционной квантовой механики для классификации химических элементов

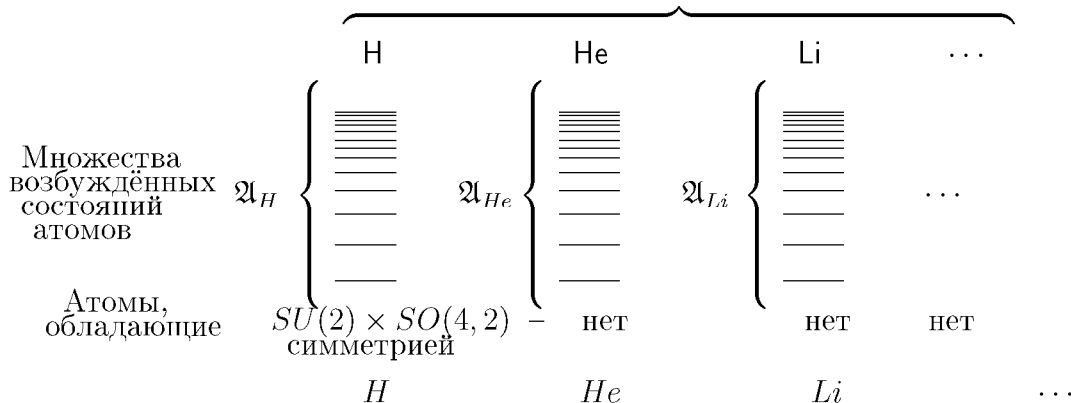
Под химическим элементом χ_z мы будем понимать некоторое состояние протоматерии \mathfrak{P} . Каждый химический элемент, в свою очередь, может находиться в основном $A_{z,0}$ и в возбуждённых состояниях $A'_z, A''_z, A'''_z, \dots$, которые мы будем называть "атомами химического элемента χ_z ".

Итак, имеем следующие множества:

множество химических элементов	$\mathfrak{H} = \{\chi_0, \chi_1, \chi_2, \dots\} = \{H, He, Li, Be, \dots\}$
множество атомов водорода	$\mathfrak{A}_H = \{A_{1,0}, A'_1, A''_1, \dots\} = \{H_0, H', H'', \dots\}$
множество атомов гелия	$\mathfrak{A}_{He} = \{A_{2,0}, A'_2, A''_2, \dots\} = \{He_0, He', He'', \dots\}$
множество атомов лития	$\mathfrak{A}_{Li} = \{A_{3,0}, A'_3, A''_3, \dots\} = \{Li_0, Li', Li'', \dots\}$

\mathfrak{H} — множество возбуждённых состояний протоматерии

Химические элементы, обладающие $SU(2) \times SU(2) \times SO(4, 2)$ - симметрией



Связь, существующая между множеством химических элементов \mathfrak{H} и множествами возбуждённых состояний атомов водорода \mathfrak{A}_H , гелия \mathfrak{A}_{He} , лития \mathfrak{A}_{Li} и т.д. показана на предыдущей диаграмме.

Как показали Малкин и Манько [10], множество атомов водорода \mathfrak{A}_H обладает симметрией, которая описывается группой Малкина и Манько

$$SU(2) \times SO(4, 2).$$

Её представление характеризуется хорошо известными из квантовой механики **четырьмя квантовыми числами:**

$$\begin{aligned} n &= 1, 2, 3, \dots \\ l &= 0, 1, 2, \dots \\ m &= -l, -l + 1, \dots, -1, 0, 1, \dots, l - 1, l \\ m_s &= -1/2, 1/2 \end{aligned}$$

Что же касается атомов гелия, лития, бериллия и т.д., то по-видимому множества \mathfrak{A}_{He} , \mathfrak{A}_{Li} , \mathfrak{A}_{Be} , ... вообще не обладают какой-либо групповой симметрией. Возникает ситуация, сходная с той, которая имеет место в классической механике: система, состоящая из двух частиц, взаимодействующих по кулоновскому закону, обладает определённой симметрией и допускает аналитическое решение в явном виде; система, состоящая из трёх и более частиц такой симметрией не обладает и не имеет явно выраженного аналитического решения. Наличие симметрии в одном случае и отсутствие её в другом является главным свидетельством принципиального различия рассматриваемых систем.

Точно так же множество атомов водорода, обладающее симметрией

$SU(2) \times SO(4, 2)$, имеет совершенно иную природу нежели множества всех других многоэлектронных атомов, **не обладающих подобной симметрией.**

Таким образом в принципе невозможно описывать многоэлектронные атомы по образцу атома водорода "водородными" квантовыми числами n, l, m, m_s . А это значит, что строго говоря, мы до сих пор не знаем, даже в рамках существующей квантовой механики, как "устроены" любые атомы за исключением атома водорода. Вместо многоэлектронного атома мы имеем дело с его неадекватной борвской моделью образца 1921 года, которая без каких-либо оснований выдаётся за истинное устройство атома.

Как установил А.И.Фет [11], множество химических элементов

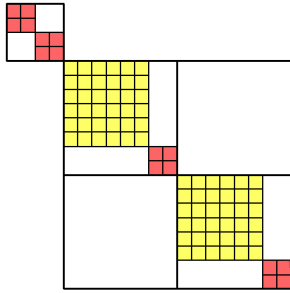
$$\mathfrak{H} = \{H, He, Li, \dots\}$$

обладает симметрией, которая описывается группой Румера-Фета

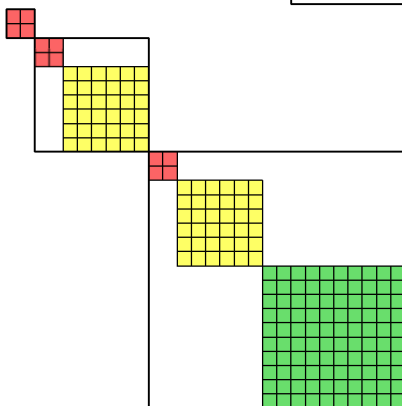
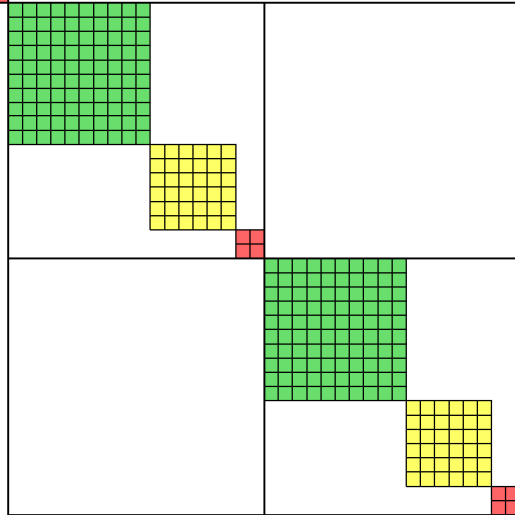
$$SU(0) \times SU(2) \times SO(4, 2).$$

Её представление характеризуется **пятью квантовыми числами:**

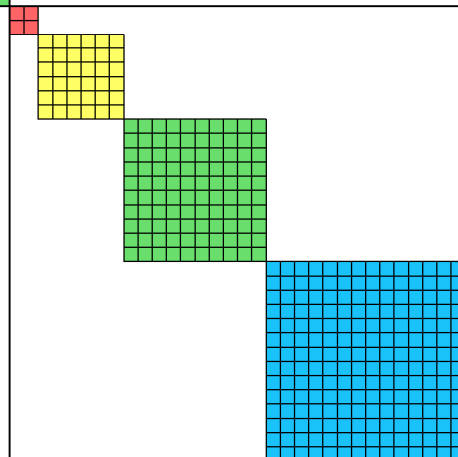
$$\begin{aligned} N &= 1, 2, 3, \dots \\ \Delta_3 &= -1/2, 1/2 \\ T &= N - 1, N - 2, \dots, 1, 0 \\ T_3 &= -T, -T + 1, \dots, -1, 0, 1, \dots, T - 1, T \\ \sigma_3 &= -1/2, 1/2 \end{aligned}$$



Матрица T_g
 представления
 группы Румера-Фета
 $SU(2) \times SU(2) \times SO(4, 2)$



Матрица T_g
 представления
 группы Малкина-Манько
 $SU(2) \times SO(4, 2)$



(В работе [11] для этих параметров используются другие обозначения:

$$N = \nu; \quad \Delta_3 = \delta; \quad T = \lambda; \quad T_3 = \mu; \quad \sigma_3 = \sigma)$$

Именно из-за этой симметрии всё множество химических элементов \mathcal{X} разбивается на гипермультиплеты, те в свою очередь разбиваются на пары супермультиплетов, супермультиплеты разбиваются на мультиплеты, мультиплеты - на дублеты и, наконец, дублеты разбиваются на отдельные химические элементы. Необходимо признать, что "электронные оболочки" с их "водородными" числами

$$n, l, m, m_s,$$

"руками" перенесённые из задачи об атоме водорода, являются типичным артефактом. Они в принципе не адекватны многоэлектронным атомам и не могут, строго говоря, получены из квантовой механики, так как только множество состояний водорода \mathcal{A}_H обладает такой уникальной симметрией, которая порождает квантовые числа n, l, m, m_s

Но к счастью, проблема строгого решения уравнения Шрёдингера для многоэлектронного атома не имеет прямого отношения к общим физико-химическим свойствам химических элементов.

Дело в том, что свойства химических элементов определяются не строением их "электронных оболочек", а положением химического элемента в их исходной последовательности, то есть квантовыми числами

$$N, a, b, c, d,$$

где $N = 1, 2, 3, \dots$ - порядковый номер гипермультиплета в исходной последовательности;

$a = 1, 2$ - порядковый номер супермультиплета в гипермультиплете;

$b = 1, 2, \dots, N - 1, N$ - порядковый номер мультиплета в супермультиплете;

$c = 1, 2, \dots, 2(N - b) + 1$ - порядковый номер дублета в мультиплете;

$d = 1, 2$ - порядковый номер химического элемента в дублете.

Или их линейными комбинациями, совпадающими с квантовыми числами представления группы симметрии Румера-Фета:

$$N, \Delta_3, T, T_3, \delta_3,$$

где $N = 1, 2, 3, \dots$ - порядковый номер гипермультиплета в исходной последовательности;

$\Delta_3 = a - 3/2 = -1/2, 1/2$ - проекция изотопического спина гипермультиплета;

$T = N - b = N - 1, N - 2, \dots, 1, 0$ - изотопический спин мультиплета;

$T_3 = c - (N - b) - 1 = -T, -T + 1, \dots, -1, 0, 1, \dots, T - 1, T$ - проекция изотопического спина мультиплета;

$\delta_3 = d - 3/2 = -1/2, 1/2$ - проекция изотопического спина химического дублета.

Если Q - какая-либо физическая величина (плотность, ионизационный потенциал, температура плавления или кипения, энтальпия испарения и т.п.), то её зависимость от выбора того или иного химического элемента может быть представлена в виде нескольких функций различного числа переменных

$$Q = Q(N, a, b, c, d) = A(V(a, b), T(N, b), T_3(N, b, c), \sigma_3(d)) = B(Z(N, a, b, c, d)),$$

где

$$Z(N, a, b, c, d) = \frac{2}{3}N(N+1)(2N-1) + 2(a-1)N^2 + 2(b-1)(2N-b+1) + 2(c-1) + d$$

Как известно, функция $Q = Q(Z)$ ведёт себя в высшей степени нерегулярно, обнаруживая при этом определённую квазипериодичность.

Однако, если вместо одной переменной - атомного номера Z выбрать четыре переменных V, T, T_3, σ_3 , то при фиксированных T^*, T_3^*, σ_3^* зависимость

$$Q(V) = A(V, T^*, T_3^*, \sigma_3^*)$$

представляет собой монотонно растущую (или убывающую) функцию, близкую к линейной, что позволяет с большой точностью предсказывать физико-химические свойства ещё неоткрытых элементов.

Резюме

Итак, все химические элементы делятся на четыре химических царства - красное ($T = 0$), жёлтое ($T = 1$), зелёное ($T = 2$) и синее ($T = 3$).

В основе этого деления лежит не строение "внешней электронной оболочки атома", а причина более глубокая - факт существования универсальной симметрии Румера-Фета, присущий всему множеству химических элементов \mathfrak{X} как единому целому.

Что же касается общепринятой квантово-механической классификации химических элементов, то, как известно, в её основе лежит тот же принцип, что и в основе классификации возбуждённых атомов водорода. Но множество энергетических уровней водорода \mathfrak{A}_H обладает универсальной симметрией Малкина-Манько, отличной от симметрии Румера-Фета (сравните матрицы T_g представлений групп Румера-Фета и Малкина-Манько, приведённые на стр. 20).

Строение Новосибирской и Горно-Алтайской таблиц химических мультиплетов абсолютно точно соответствует группе симметрии Румера-Фета $SU(2) \times SU(2) \times SO(4, 2)$ и находится в явном противоречии с группой симметрии Малкина-Манько $SU(2) \times SO(4, 2)$ что, строго говоря, говорит о неприменимости квантово-механической модели Бора и необходимости использования теоретико-групповых методов для объяснения свойств Периодической системы химических элементов.

Литература

- [1] *N.Bohr*. Fysik Tidsskr., 19, 153 (1921);
- [2] *Бор Нильс*. Три статьи о спектрах и строении атомов. М.-Пг., ГИЗ, 1923, 23 с,
- [3] *Румер Ю.Б., Фет А.И.* Группа Spin(4) и таблица Менделеева //Теорет. и мат. физика. - 1971. - Т. 9, № 2. - С. 203-210.
- [4] *Vyakov V.M., Kulakov Y.I., Rumer Y.B., Fet A.I.* Group-Theoretical Classification of Chemical Elements. - М., 1976-1977. - (Препринт/АН СССР. Ин-т теоретич. и эксперим. физики; 1967. - 4.1. - 28 с. - № ИТЕР-26; 1976. - Ч.П/ - 40 с, - № ИТЕР-90; 1977. - Ч.Ш. - 25 с, - № ИТЕР-7).
- [5] *Fet A.I.* The Madelung Numbers and the System of Chemical Elements //Теоретико-групповые методы в физике. Т. 1. Тр. междунар. сем. Звенигород, 1979. - М.: Наука, 1980. - С. 327-336.
- [6] *Кулаков Ю.И.* Естественная таблица химических элементов //Структурный анализ символьных последовательностей. Выпуск 101. Вычислительные системы. - Новосибирск. Институт математики СОАН СССР, 1984, С. 82-90.
- [7] *Кулаков Ю.И.* Классификация химических элементов на новой основе. //Классическое естествознание и современная наука. - Новосибирск. Изд-во НГУ, 1991, С. 97-118.
- [8] Физические величины: Справочник/А.П.Бабичев, Н.А.Бабушкина и др., - М.: Энергоатомиздат, 1991. Передний форзац.
- [9] *Фримантл М.* Химия в действии. В двух частях. Ч. 2.; Пер. с англ. - М.: Мир, 1991. С. 14 - 15.
- [10] *Малкин И. А., Манько В.И.* Симметрия атома водорода. //Письма в ЖЕТФ. - 1965. - Т. 2, III 5. - С. 230-234.
- [11] *Фет А.И.* Группа симметрии химических элементов. //Математическое моделирование в биологии и химии. Новые подходы. - Новосибирск: Наука. Сиб. отделение, 1992. С. 118 - 203.