

Таштанова Ж.М., Джанузакоев К. Ч.

**ДМИТРИЙ МЕНДЕЛЕЕВДИН ХИМИЯЛЫК ЭЛЕМЕНТТЕРИНИН
МЕЗГИЛДҮҮЛҮК ПРОЦЕССТЕРИ ЖАНА МЕЗГИЛДҮҮЛҮК МЫЙЗАМЫ**

Таштанова Ж.М., Джанузакоев К. Ч.

**ПЕРИОДИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ПЕРИОДИЧЕСКИЙ ЗАКОН
ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ДМИТРИЯ МЕНДЕЛЕЕВА**

J. Tashtanova, K. Dzhanzakov

**PERIODIC PROCESSES AND THE DMITRIY MENDELEEV'S
PERIODIC LAW OF THE CHEMICAL ELEMENTS**

УДК: 37.012:54

Макалада жаратылыштагы, илимдеги жана техникадагы мезгилдүү процесстерге мисалдар келтирилген. Өзгөрүүлөрдүн, ритмикалык, циклдик процесстердин жана кубулуштардын, гомологиянын жана фракталдардын ар кандай түрлөрү сыяктуу. Композициянын мыйзамдарына негизделген, алгоритмдик ыкманын негизиндеги гомологиялык типтин тыянактарындагы маселелер каралган. Мында органикалык химияда белгилүү болгон жана полимерлерге же фракталдарга алып баруучу негизги элементтер катары элементардык чынжыр тандалат. Д.И. Менделеевдин мезгилдик мыйзамы чагылдырылуусу болуп саналган заттын татаалдануу процесстерин чечмелөөдө алгоритмдер каралган, аларда негизги элементтер катары адабиятта белгилүү болгон ар кандай сандык тизмектер (үч бурчтук, спираль тиб, сыйкырдуу сандар ж.б.) колдонулат жана жекелик мүнөздөгү мыйзам ченемдүүлүккө алып келет. Кээ бир сыйкырдуу ядролорду алууга мүмкүндүк берүүчү $2n^{**}2$ түрүндөгү сандык ырааттуулукка негизделген модель сунуш кылынган. Андагы гомологиянын бар экендигин көрсөтүүчү $2n^{**}2$ ырааттуулугун табигый катарлардын (модульдардын) сандарына бөлүүдөн алынган калдыктардын структурасында ритмдүүлүк табылган.

Негизги сөздөр: мезгилдүүлүк, гомология, фракталдар, мезгилдүүлүк системасы, алгоритмдер, логикалык ядра, окуу процесси.

В статье приведены примеры периодических процессов, имеющих в природе, науке и технике. Такие, как различные виды колебаний, ритмические, циклические процессы и явления, гомология и фракталы. Рассмотрены вопросы вывода семейств гомологического типа на основе алгоритмического подхода, в основу которого положены законы композиции. При этом в качестве базисных элементов выбираются элементарные цепочки, известные в органической химии и приводящие к полимерии, либо, к фракталам. При трактовке процессов усложнения вещества, отражением которых является Периодический закон Д.И. Менделеева, рассмотрены алгоритмы, в качестве базисных элементов, в которых, применяются различные числовые последовательности, известные в литературе (треугольные, спирального типа, магические числа и др.) и приводящие к закономерностям частного характера. Предложена модель на основе числовой последовательности вида $2n^{**}2$, позволяющая получить некоторые из магических ядер. Обнаружена ритмичность в структуре остатков, полученных при делении последовательности $2n^{**}2$ на числа натурального ряда (модулей), свидетельствующая о наличии в ней гомологии.

Ключевые слова: периодичность, гомология, фракталы, периодическая система, алгоритмы, логические ядра, учебный процесс

The article gives examples of periodic processes in nature, science and technology. They include various types of oscillations, rhythmic, cyclical processes and phenomena, homology and fractals. The issues regarding derivation of families of homological type using algorithmic approach based on the laws of composition are considered. In doing so, elementary chains known in organic chemistry leading to polymerism, to fractals were chosen as basic elements. When interpreting the processes of complication of matter, for which the Periodic Law of D. I. Mendeleev is a reflection, algorithms are considered built from various numerical sequences known in the literature (triangular, spiral type, magic numbers, etc.) as their basic elements, which lead to particular laws. A model based on a numerical sequence of the form $2n^{**}2$ is proposed, which makes it possible to obtain some of the magic nuclei. Rhythmicity was revealed in the structure of the residues produced by dividing the sequence $2n^{**}2$ by numbers of the natural series (modules), indicating the presence of homology in it.

Key words: periodicity, homology, fractals, periodic system, algorithms, logical nuclei, educational process

Периодические процессы широко распространены в природе, науке и технике. Практически, они наблюдаются на всех уровнях развития материи, что указывает на полисистемный характер явлений. На атомном – колебания атомов, радиоактивность, физическом – механические, волновые (электромагнитные, свет, звуковые) колебания, химическом, биологическом – биоритмы, гомологические системы, фракталы, циклы и гиперциклы, состоящие из большого числа ферментов и др. На космическом уровне – движение Земли и планет вокруг Солнца и своей оси, движение галактик, вулканическая активность, горообразование и строение горных пород, гейзеры, Солнечная и лунная активность, приливы и отливы, мерцание звезд и т. д. [1; 2; 3].

К циклическим процессам относятся различные колебательные и волновые процессы, численные значения физических величин в которых циклически повторяются. Это процессы с циклически повторяющимися максимумами и минимумами. Таковы, например, суточные и сезонные колебания температуры и связанные с ними различные явления: сезонные подъемы и спады эпидемий, биоритмы в жизнедеятельности живых существ, в том числе и человека, спады и подъемы деловой активности человека, в экономике, смена мод и т. д.

В области геологии известны такие процессы, как седиментационная цикличность и образование элементарных единиц - циклитов [4]. Методы разведки месторождений и литологии магматических пород возможны, с помощью реальной модели «математического» маятника, по величине и изменению частоты его колебаний [5].

Для анализа периодических процессов применяются Фурье – анализ, его аналоги, моделирование на уровне периодограмм. Производится расчет индексов, отражающих изменения в системе. Такие, как индексы сезонности, индексы загрязнения воздуха и воды, показывающие изменения параметров и характеризующие динамику процессов во времени, а также картограммы - в пространстве. В технике используются многие из видов физических колебаний, на основе глубокого знания которых созданы различные приборы, применяемые в различных отраслях промышленности, быту, анализе веществ и в медицине.

Большое значение имеет прогнозирование, которое позволяет, до некоторой степени, предвидеть и принять соответствующие меры для противодействия, либо к снижению негативных последствий от данного явления.

На биологическом уровне, и не только на нем, нередко обнаруживаются спиральные формы, к изучению которых применяются методы математического моделирования. Такого типа спирали обусловлены дискретным характером развития объектов, их квантованием [6]. Логарифмические спирали, в частности, Фибоначчи, своего рода модели распространенных природных явлений, ввиду ее самоподобия, могут быть отнесены к фракталам [7]. Самоподобие – это свойство, тесно связанное с периодичностью [8]. Фракталы - понятие, близкое к гомологии, которая применяется в различных областях науки. Эстетически, фракталы представляют собой весьма красивые объекты, математически выраженные изящество и красоту [9]. Фракталы получают различными теоретико-функциональными и алгоритмическими методами, и они находят в настоящее время множество приложений, в том числе и в школьном образовании.

Попытки моделирования явлений на системном уровне были предприняты различными исследователями (Урманцевым Ю.А., Марутаевым М.А., Ждановым Ю.А.). Так, Ю.А. Урманцевым были предложены, на основе общей теории систем, законы композиции, основанные на выделении структурных единиц, своего рода - базиса, путем декомпозиции изучаемого объекта и затем, их сочленения, по определенным правилам. Однако, этих правил, или алгоритмов, в применении к химии, практически, он не приводит [10]. М.А. Марутаевым, на основе разра-

ботанных им теоретико - числовых конструкций, выведены композиционные ряды, более применимые, и им же осуществленные, при построении периодической системы химических элементов [11]. Ю.А. Ждановым осуществлена классификация гомологических рядов, а также выделены изоологи и генетические ряды. Описано явление гомологизации [12].

Однако, здесь же отметим, что, при характеристике процессов усложнения вещества, его путей и закономерностей развития, кроме теоретико-числовых и комбинаторных методов исследования, в области химической гомологии, структурообразовании и поиске определяющих соотношений, еще недостаточно применяются теоретико-графовые построения и конструкции, обладающие большей наглядностью, и, тем самым, возможностью применения в учебном процессе. Теоретико-числовые методы, вывод определяющих соотношений и алгоритмы на их основе, более приемлемы при анализе периодической системы химических элементов Д. И. Менделеева, рассматриваемой также как гомологическая система.

Целью настоящей работы, являлось, на основе фактографических материалов, представленных в ряде доступных литературных источников, их анализа, произвести поиск алгоритмов, а в ряде случаев, и формул, применимых при моделировании и трактовке явлений усложнения вещества, на уровне гомологии.

Следует отметить, что приведенные в данной работе алгоритмы не являются, чем-то особым, и могут служить лишь в качестве дополнения к рассмотренным выше композиционным методам, основанным на системном подходе и теоретико-числовых конструкциях. Необходимо отметить, что предлагаемые ниже алгоритмы носят, все-таки, довольно интуитивный, эвристический характер.

В химии также наблюдаются самые разнообразные периодические процессы (пульсирующие, ритмические, мерцающие). Сюда относятся физико-химические процессы - кристаллизация, диффузия, электрохимические процессы окисления – восстановления веществ, фотохимические, хроматография. Описаны периодические физико-химические процессы, такие как образование колец Лизеганга, аналогом которых является образование камней в почках и желчном пузыре, при некоторой патологии и др. Известен, ставший уже классическим, колебательный процесс - реакция Белоусова - Жаботинского, применяющаяся в качестве модели сердечных сокращений, исследовании нарушений в его работе (аритмии и фибрилляции), нередко приводящих к смерти [13].

Как полагают специалисты, периодические процессы весьма актуально рассматривать в учебном процессе, в рамках метаметодологического подхода, необходимого для формирования мировоззрения

учащегося о закономерном характере протекания явлений природы и возможности его познания. Реализация метаметодологического подхода в урочной деятельности требует внимания учителя к тому, что нас, в значительной степени, окружают разнообразные периодические процессы [13].

Ярким проявлением ритмических процессов в химии, как указывалось выше, является гомология. Ее рассматривают в старших классах школы и в программах вузов, в основном, в органической химии. Гомология, как периодически повторяющийся процесс усложнения вещества, особенно характерна для кристаллического состояния вещества, полимерии (гомологический ряд метана, изоологи: ряды алкенов, алкинов, фторуглеродов и т.п., более сложные образования – ДНК, белковые молекулы и полисахариды). Из этого видно, что основаниями, базисом, для композиционных рядов, при построении гомологии и полимерии, изоологии и генетических рядов, могут быть самые различные цепочки - фрагменты, и не только ограниченные атомами углерода, водорода, CH_2 - групп и т.п., как это представлено в работах Ю.А. Урманцева.

Алгоритмически, многие из перечисленных соединений, могут иметь весьма простое строение, многократное повторение фрагментов (А): АААА... (ряд фенила: бифенил, терфенил и др., ряд бензола – нафталин, антрацен, тетрацен, ряды полиенов и полиинов, в том числе и циклических, и др.). Так, предельным случаем ряда ацетиленов является полиацетилен, или, карбин - еще один из представителей аллотропных модификаций углерода. Возможно включение в ряд, представленный фрагментом (А) и других фрагментов (В): АВАВАВА и т. п. К примеру, в качестве А берем гомологическую разность $\text{CH}_2 - \text{CH}_2$, а в качестве В – $\text{CH}=\text{CH}$ -. Также, возможны и еще более сложные конструкции, имеющие пространственное строение, такие как полиамантаны - ряд адамантана, предельным случаем которого является алмаз.

Как выше уже указывалось, в природе нередко наблюдается явление спирализации. В биохимии – это ДНК и нуклеиновые кислоты. Такой же тип развития, в принципе, возможен и для полициклических углеводов - соответствующий алгоритм включает «приклеивание» очередной клетки, бензольного ядра, к клетке – бензолу. Это ряд, состоящий из цепочки вида: бензол, нафталин, перинафтен, пирен, нафтантрен, бензнафтантрен, коронен, бензкоронен, цирконафталин и т.д. Наглядно, действие этого алгоритма лучше всего рассматривать на гексагональной сетке (соты). Такова, возможно, структура графита и ряда углей, определяющая их разновидность, в метаморфическом ряду, аллотропия [14, 15]. На гексагональной сетке можно, путем линейного движения, получить линейные полициклы, как, например,

семейство полиаценов: бензол, нафталин, антрацен, тетрацен и др. А «ходом шахматного коня» можно получить и семейство фенантрена. Интересно отметить, что некоторые фракталы, например, «кривые дракона», точнее, их аналоги, вполне возможно получить на гексагональной сетке путем ряда движений и поворотов, по алгоритму, включающему случайные последовательности, закодированные по некоторым правилам [16]. К примеру, простейший фрактал получается из двоичной последовательности типа 111 1000 1001 1010, где 1 - шаг влево, вверх, 0 - поворот направо. Такого типа фракталы могут иметь место и в структуре нефтяных продуктов – асфальтенов, где рост сеток полициклических углеводородов происходит случайным образом [17]. Относительно, полициклических углеводородов и гомологических рядов в них, соответствующая информация приведена в книге [18].

Поиск алгоритмов, приводящих к гомологическим системам, может быть весьма увлекательным, хотя и выходит несколько за рамки учебников.

Периодические процессы, наблюдающиеся в природе, могут приводить и к вполне симметричным соединениям, различным стереоизомерам. Весьма интересны экзотические структуры - топологические изомеры, синтезированные и изучаемые химиками, такие как катенаны, ротаксаны и узлы [19]. Большая информация о симметрии приведена в работе Ю.А. Урманцева, а также в книге Тарасова Л.В., предназначенной для учащихся [10, 20].

Закономерности, присущие гомологическим системам, значительно облегчают поиск и синтез материалов и веществ, с заранее заданными свойствами и биологической активностью.

Большая роль в формировании научного мировоззрения учащихся отводится изучению Периодического закона, как закона всеобщего развития материи, ознакомлению и овладению методами научного познания, обобщению накопленных фактических и теоретических знаний на диалектической основе, умению логически и диалектически мыслить. Немаловажным является выработка у учащихся представления о химии, как науке, объясняющей мир и процессы, происходящие в нем, преобразующей его в ходе человеческой деятельности, превращение знаний в убеждения. Поиск путей этого процесса – воспитательная задача обучения химии [21].

Относительно истории Периодического закона и вида таблицы, отражающей закон изменения свойств элементов, в Интернете имеется большая информация. Так, в Википедии показано, что модели, применяемые для систематики химических элементов, были известны и ранее, до Д.И. Менделеева. Сюда относятся триады Деберрейнера, спиралевидная, типа намотки по поверхности цилиндра, модель А. де

Шанкуртуа, октавы Ньюлендса, предложенные им во время поиска закономерностей, подобных музыкальной гармонии, но на мистической основе [22]. После Д.И. Менделеева Н. Бором была предложена лестничная модель [23]. Д.И. Менделеевым были предсказаны такие элементы, как галлий, скандий и германий, их свойства. Как сейчас стало понятным, для предсказания этих элементов, Д.И. Менделеевым было использовано, хорошо знакомое ему, при чтении курса «Общей химии» явление гомологии. А именно, им были заполнены те клетки таблицы, пустовавшие в то время, которые расположены ниже известных элементов. Менделеевым были также исправлены атомные веса некоторых элементов.

Понятию гомологии, ее проявлению в периодической системе Д.И. Менделеева, отведено весьма большое место в книге «Гомология и гомотопия географических систем» [24]. Так, утверждается, что гомологами могут быть химические элементы, расположенные в главных подгруппах, столбцах, таблицы Д. И. Менделеева (гомологические ряды). А также, к гомологам вполне могут быть отнесены изотопы (плеяды) одного химического элемента. Предлагается также объединить в гомологические ряды и группы и подгруппы, одновременно. Предложенный в данной книге матричный подход к таблице Д.И. Менделеева, с иллюстрацией в виде спиральной ее формы, имеет далеко идущие следствия и приложения к матричной генетике, отраженные в работах А.П. Стахова, С.В. Петухова, С.П. Василенко, посвященных «золотому сечению», его применению.

В настоящее время таблица химических элементов представлена 118 элементами (конец десятого ряда). 118 элемент (Оганесян) – из группы трансфермиевых. Общее число протонов и нейтронов у элемента Оганесяна составляет 294, из них количество протонов равно 118, а нейтронов - 176 [25]. В отношении того, чтобы облегчить запоминание учащимися школ и вузов, элементов и их свойств, производится раскраска таблицы химических элементов различными цветами [26]. Большое значение для восприятия основных закономерностей в поведении элементов и их активности, имеют, т. н., интерактивные таблицы, где указаны не только свойства элементов, но и их применение, к примеру, в медицине [27]. Интерактивная таблица вполне может быть применена для обучения школьников и студентов высших учебных заведений медицинского профиля.

В Интернете предлагается также большое количество интеллектуальных игр, предназначенных для учащихся школ и других общеобразовательных учреждений [28]. В статье «Периодическая таблица» - урок Химия, 8-9 классы. - Я Класс [29], показано основное свойство периодов и групп элементов. Так,

в первом периоде имеется всего 2 элемента, во втором - 8 элементов, в третьем - также 8. Это - малые периоды. В четвертом периоде содержится 18 элементов, пятом - 18, шестом - 32 (18+14), седьмом - 32 (18+14). Это, так называемые большие периоды. И в малых, и в больших периодах происходит постепенное ослабление металлических свойств и усиление неметаллических. Однако, такая тенденция в больших периодах происходит более плавно. Двойная периодичность появляется вследствие того, что s, p, d и f - электроны, участвующие в заполнении таблицы, имеют противоположные спины.

В периодическом законе свойства элементов изменяются закономерным образом. Наглядно, это заметно по потенциалам ионизации и др. параметрам. По определению, потенциалы ионизации – это энергия отрыва электрона от атома, молекулы. Потенциалы ионизации и знание о них широко применяются в различных областях науки и техники. Сюда относятся материаловедение, нанотехнологии и лазерная техника, УФ - и масс-спектрокопия, применяемые при идентификации вещества, реакционная способность и оценка биологической активности, вновь созданных, соединений. Большое значение имеют потенциалы ионизации и их знание при разработке биологически активных комплексов с переносом зарядов. А также важное гигиеническое значение имеет знание потенциалов ионизации для металлов и их соединений, находящихся в окружающей среде и, потенциально опасных для человека, вызывающих такие заболевания, как «микроэлементозы». Токсичность металлов и их соединений повышается с ростом валентности металла, при этом имеется корреляция с потенциалами ионизации. Известны геохимические провинции, в том числе искусственные, созданные в результате практической деятельности человека.

Хотя периодический закон и не имеет обобщенной математической формулы, тем не менее, в настоящее время ведутся поиски формул, отражающих частные закономерности в поведении элементов, чисел и числовых последовательностей, связанных с расположениями элементов, их порядковым номером.

В качестве моделей, отражающих некоторые закономерные свойства, использовались треугольные, многоугольные и пространственные числовые последовательности. Некоторые из этих последовательностей известны со времен Пифагора, хотя и носили мистический характер [30].

При выводе числовых последовательностей, как правило, ориентируются на магические и дважды магические числа ядер химических элементов, расположенных в периодической системе Д.И. Менде-

леева [31]. Магические числа отражают некоторую стабильность элементов. Исследователи предполагают, вопреки распространенному мнению, что некоторые тяжелые и сверхтяжелые элементы могут быть достаточно стабильными и в настоящее время производится поиск и синтез данных элементов. Ранее, по состоянию на 2019 год, было известно всего семь магических ядер, стабильных и довольно распространенных в природе элементов, куда относятся элементы с порядковыми номерами 2, 8, 20, 28, 50, 82 и 126 (последовательность A018226 в OEIS), у которых замкнутая оболочка ядра. Это такие элементы, как гелий (2), кислород (8), кальций (20), никель (28), олово (50) и, условно, свинец. Магические ядра – это элементы с различным числом протонов и нейтронов, а дважды магические - содержат равное число протонов и нейтронов. Свинец, имеющий 82 протона и 126 нейтронов, может относиться, вообще говоря, к элементам с магическим ядром. По микроскопической модели атомного ядра могут быть и такие магические ядра, числа которых соответствуют последовательности $N_{\text{маг.}} = 110, 114, 120$ и 184. Найдено также новое магическое число – 34 [32, 33].

В работе С. А. Семикова: «Геометрия – ключ к микромиру» дается схема (алгоритм) образования магических чисел и их геометрическая трактовка. Схема основана на свойствах треугольных чисел

вида $N = \frac{p(p+1)(p+2)}{2}$, на их рекуррентных соотношениях. Таким путем были выведены основные магические числа $N_{\text{маг.}} = 2, 8, 20, 50, 82, 126, 184, 258$ [34]. Для вывода магических чисел предложена также интеллектуальная игра, основанная на свойствах магических квадратов [35]. В Энциклопедии машиностроения дается способ нахождения магических чисел, основанный на приближенном уравнении вида:

$$N_{\text{маг.}} = (p^3/3) + (p^2) + (8/3 \cdot p) + 2$$

где p – числа натурального ряда, начиная с трех. Таким путем были получены числа $N_{\text{маг.}} = 28, 40, 81, 126, 184, 258$ [36].

В настоящей работе нами было обращено внимание на закономерное поведение порядковых номеров элементов, стоящих в конце периодов, о котором говорилось выше. Это появление числовой последовательности $N = 2, 8, 8, 18, 18, 32, 32, \dots$. Алгоритм, по которому получают порядковые номера достаточно устойчивых элементов, сводится к суммированию чисел вида $N = 2p^2$, что приводит к ряду: $N = 2, 10, 18, 36, 54$. Ниже, в таблице 1 приводится последовательность чисел типа $N = 2p^2$ и соответствующие ей магические ядра.

Таблица 1

Последовательность чисел вида $N=2p^2$ и их сумма, с учетом двойной периодичности

	$2p^2$	Сумма	Магические числа, $N_{\text{маг.}}$		Элемент
1	2	2	2		Гелий
2	8	10	8		Кислород
2	8	18	20		Кальций
3	18	36	28	34	Никель
3	18	54	50		Олово
4	32	86	82		Свинец
4	32	118	119	126	(118) Оганесян
5	50	168	168	184	
5	50	218	216	219	(208) (Свинец)
6	72	290		258	
6	72	362			
7	98	460		405	
7	98	558			
8	128	686	692		
8	128	714			

Интересным является поведение чисел – вычетов, получающихся при делении чисел в последовательности $N = 2p^2$, на числа натурального ряда. В качестве примера, приведем вычеты, получающиеся от деления последовательности вида $N = 2p^2$ на числа (модули), равные 4, 6, 8. Так, при модуле 4, последовательности чисел-вычетов, или, своего рода, «мотивы» (термин, взятый из музыки), имеют вид - 0202..., при модуле 6 - 220220..., а при модуле 8 - 0202.... Такие короткие фрагменты наблюдаются не

всегда. Так, при нечетных делителях, фрагменты – «мотивы» увеличиваются в размерах. Возможно, такое, закономерное, поведение чисел - «мотивов», отражающих внутренние закономерности в построении системы, также свидетельствует о наличии гомологии в приведенной последовательности чисел $N = 2p^2$, и соответствующих этим числам элементов, в их сравнении. О вычетах и модулях соответствующая информация приведена в книге Воробьева Н.Н. «Числа Фибоначчи» (1978) [37].

Выводы. Таким образом, различные гомологические ряды и семейства, в рассмотренных выше ситуациях, могут быть выведены алгоритмическим путем, в том числе и на основе теоретико-числовых конструкций. В Периодической таблице химических элементов, кроме общего закона, обнаруживаются закономерности частного характера, с определяющими соотношениями между числовыми последовательностями, соответствующими им семействами элементов, проявлениями которых являются магические ядра. Закономерности, имеющиеся в таблице химических элементов, могут быть использованы при изучении химии, для построения интерактивных таблиц и др.

Литература:

1. Колебательные процессы в природе и технике: Энциклопедия машиностроения XXL. Режим доступа: <https://mash-xxl.info/info/750683/>.
2. Конспект урока «Периодические процессы в природе». Режим доступа: <https://infourok.ru/konspekt-uroka-periodicheskie-processy-v-prirode-4103484.html>.
3. Периодические процессы. Режим доступа: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=14599>.
4. Карагодин Ю.А. Седиментационная цикличность. - М.: Недра, 1980. - 242 с.
5. Исламгулов Д.Р., Гасымов З.А. Разведка месторождений с помощью маятников // Инновационные процессы в науке и технике XXI в: материалы XVI Межд. научно-практ. конф. студентов, аспирантов, учёных, педагогических работников и специалистов-практиков (Нижевартовск, 20 апреля 2018.) / Отв. ред. О.Н.Дроконова, Ю. А. Обухова. - Тюмень: ТИУ, 2018. Т. 2. - 220 с.
6. Шмидт В. М. Математические методы в ботанике: Учебное пособие. - Л.: Изд.-во Ленинград. ун.-та, 1984. - гл. 6.
7. Логарифмическая спираль. Режим доступа: <https://kopilkaurokov.ru/matematika/prochee/logarifmichieskaia spiral>.
8. Кучеренко А. Самоподобие и периодические процессы в природе. Режим доступа: <http://wsneo.com/evolution/channel.html>.
9. Пайтген Х.О., Рихтер П.Х. Красота фракталов. Ч. 1. Режим доступа: <http://www.philsci.univ.kiev.ua/biblio/Pajt.html>.
10. Урманцев Ю.А. Симметрия природы и природа симметрии. - М. Мысль, 1974. - С. 60, 89, 125.
11. Марутаев М. А. Гармония мироздания - общий закон. / Сознание и физическая реальность. 2005. № 6 (приложение). С. 28-30. Режим доступа: www.marutaev.ru/files/harmony_st.pdf
12. Жданов Ю.А. Гомология в органической химии. - М.: Изд-во МГУ, 1950. - 92 с.
13. Турлов А.В., Телешов С. Природные периодические процессы в школьных курсах естественных наук: метаметодологический аспект // Gamtamokslinis Ugdyimas / Natural Science Education. 2013, 3 (38). С.38-47. Режим доступа: <https://oaji.net/articles/2014/514-1415810844.pdf>
14. Юркевич Я., Росинский С. Углекислоты. - М., 1973. 360 с.
15. Формула угля. Режим доступа: <http://ru.solverbook.com/spravochnik/formuly-po-ximii/formula-uglya/>
16. Алгоритмы построения фракталов и особенности их реализации. Режим доступа: <https://hmath.spbstu.ru/userfiles/files/documents/conference/2018/11.pdf>.
17. Симонян Г.С. Фрактальность нефтяных залежей и нефти. / Технологии нефти и газа. 2015. № 3. С.24-31.
18. Клар Э. Полициклические углеводороды. Т.1, 2. М., 1971.
19. Дмитриев И.С. Молекулы без химических связей. Очерки о химической топологии. - Л.: Химия, 1980. 160 с.
20. Тарасов Л.В. Этот удивительно симметричный мир. - Л.: Изд.-во Просвещение, 1982. 176 с.
21. Козлова-Козыревская А.Л., Васильева Н.Г. Формирование научного мировоззрения учащихся при изучении химии / Материалы XVI Межд. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов, учёных, педагогических работников и специалистов-практиков (Нижевартовск, 20 апреля 2018 г.) / Отв. ред. О.Н. Дроконова, Ю.А.Обухова. - Том. II. - Тюмень: ТИУ, 2018. - С. 74-77.
22. История периодической системы. Режим доступа: www.semmsuru.ru/chemist/isthim/periodhtml/
23. Формы периодической таблицы / Саратовский государственный технический университет. Режим доступа: <http://www.sstu.ru/nauka/iypt/formy-periodicheskoy-tablitsy/>
24. Черкашин А.К., Истомина Е.А., Владимиров И.Н., Мядзельц А.В., Мясникова С.И., Солодянкина С.В., Трофимова И.Е., Фролов А.А. Гомология и гомотопия географических систем. / Науч. ред. д.г.н. А.К. Черкашин, к.г.н. Е.А. Истомина; Рос. акад. наук, Сиб. отд. Ин-т географии им. В.Б. Сочавы. - Новосибирск, 2009. 351 с.
25. Периодическая таблица Д.И. Менделеева. Режим доступа: www.heminsuru/mendshmt/.
26. Периодическая система элементов. Режим доступа: <https://web.kpi.kharkov.ua/onch/periodicheskaya-sistema-elementov/>.
27. Интерактивная периодическая система химических элементов. Режим доступа: <https://sklif.mos.ru/table-mendeleev/>
28. Кнышева Л.Н. Интеллектуальная игра «Периодический закон и периодическая система химических элементов Д.И. Менделеева». Режим доступа: <https://urok.1sept.ru/articles/566166>.
29. Периодическая таблица - урок. Химия, 8-9 классы. Режим доступа: <https://www.yaklass.ru/p/himija/89-klass/periodicheskiy-zakon-i-stroenie-atomov-163960/periodicheskaya-sistema-173437/re-350c5fab-fafd-4500-a11f-9dca52fdd9>.
30. Яглом И. М. Математические структуры и математическое моделирование. - М.: Советское радио, 1980. - С. 25.
31. Магические числа. Материал из Википедии – свободной энциклопедии. - Режим доступа: [site: star-wiki](http://star-wiki.ru/).
32. Магические ядра. Режим доступа: <https://bigenc.ru/physics/text/2151969>
33. Алфавит А. Магическая система химических элементов. Режим доступа: <https://proza.ru/2018/05/31/165>.
34. Семиков С.А. Геометрия - ключ к микромиру. Режим доступа: <http://ritz-btr.narod.ru/geon.html>.
35. Алфавит А. Магические числа в химии. Режим доступа: <https://proza.ru/2011/10/28/383>.
36. Магические числа // Энциклопедия машиностроения XXL. Режим доступа: <https://mash-xxl.info/info/13633/>.
37. Воробьев Н. Н. Числа Фибоначчи. - М., 1978. - С. 47 - 55.