

**ДЕМОКРИТ И АНАКСАГОР:  
СРАВНЕНИЕ КОНЦЕПЦИЙ  
ПРИМЕНИТЕЛЬНО К СОВРЕМЕННОЙ НАУКЕ**

**С. Ю. Коломийцев**

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического  
приборостроения*

Поступила в редакцию 14 ноября 2016 г.

**Аннотация:** в статье сравниваются концепции атомистов (мир состоит из мельчайших неделимых частиц – атомов) и Анаксагора (мир состоит из мельчайших делимых до бесконечности частиц – гомеомерий). Рассматривая достижения современной науки в области физики элементарных частиц, космологии и др., автор делает вывод о том, что, несмотря на большую популярность и кажущуюся близость к современной науке атомизма, идеи самоподобия также становятся актуальными для современной науки. Данные идеи получили развитие благодаря Бенуа Мандельброту, который ввел понятие «фрактал» и предложил фрактальную геометрию для описания природы. В настоящее время фракталы используются в различных науках для описания разнообразных явлений, а взгляд на окружающий мир как на сложную самоподобную систему может являться более продуктивным. Поэтому концепция Анаксагора «все во всем» может оказаться более близкой для будущей науки, нежели концепция атомизма.

**Ключевые слова:** фрактал, самоподобие, регулярность, кластеризация, тенденции в науке, гомеомерии.

**Abstract:** the concepts of Atomists (nature consists of little indivisible particles) and of Anaxagoras (nature consists of little particles which can be divided infinitely) are compared in the article. Considering the achievements of modern science in the areas of particle physics, cosmology, author is concluded that in spite of big popularity of atomism the ideas of self-similarity are becoming actual in science. These ideas became popular thanks to Benoit Mandelbrot who brought into the science the term “fractal” and suggested fractal geometry for describing nature. For the time being fractals are used in many sciences for describing different phenomena, and the point of view when nature is considered as a complex self-similar system can be much productive. That is why the Anaxagoras’ concept “all in all” can be closer to the science of future than the concept of atomism.

**Ключевые слова:** fractal, self-similarity, regularity, clusterization, tendencies in modern science, homeomerias.

В эпоху Античности зародился целый ряд идей, имевших высокую значимость не только для древних греков и римлян, но и для современного мира. Одной из таких идей является гипотеза, выдвинутая греческими философами Левкиппом (500–440 до н. э.) и Демокритом (460–370 до н. э.). Они утверждали, что весь мир состоит из мельчайших невиди-

мых частиц, которые были названы словом «атом» (в пер. на русский – «неделимый»). Аристотель писал: «Демокрит же и Левкипп говорят, что [все] прочее состоит из неделимых тел, последние же бесконечны числом и бесконечно разнообразны по формам» [1, с. 58]. Таким образом, как полагали атомисты, если начать делить материю на все меньшие и меньшие части, то в итоге можно прийти к минимальной частице, которая, в свою очередь, уже не будет делиться далее. Согласно атомистам, эти неделимые частицы отличаются друг от друга величиной, формой и весом. Все объекты являются соединением неделимых атомов. Цицерон отмечал: «Он [Демокрит] полагает, что “атомы”, как он их называет, т. е. неделимые вследствие твердости тела, носятся в бесконечном пустом пространстве... таким образом, что вследствие столкновений они сцепляются между собой, из чего возникает все то, что есть и что ощущается. Это движение атомов должно мыслить не имеющим начала, но существующим вечно» [там же].

Атомистическое учение было развито в Древнем Риме в рамках эпикурейской школы. Ее основатель Эпикур (341–270 гг. до н. э.) внес важное уточнение в теорию: атомы в своем движении могут самопроизвольно отклоняться от изначальных траекторий, а следовательно, в нашем мире не все предопределено, и существует свободная воля. Крупный представитель эпикуреизма Тит Лукреций Кар (99–55 гг. до н. э.) доказывал, что окружающий мир должен состоять из материальных частиц, которые неделимы до бесконечности, следующим образом:

Если не будет, затем, ничего наименьшего, будет  
Из бесконечных частей состоять и мельчайшее тело:  
У половины всегда найдется своя половина,  
И для деленья нигде не окажется вовсе предела.  
Чем отличишь ты тогда наименьшую вещь от вселенной?  
Ровно, поверь мне, ничем. Потому что, хотя никакого  
Нет у вселенной конца, но ведь даже мельчайшие вещи  
Из бесконечных частей состоять одинаково будут [2, с. 42–43].

Противоположную позицию предложил другой древнегреческий философ – Анаксагор (500–428 гг. до н. э.). Он утверждал, что в основе мира находятся частицы, которые были названы гомеомериями (в пер. с греческого – «то, что имеет подобные части»). Профессор С. В. Орлов пишет: «Гомеомерии Анаксагора чем-то напоминают атомы Демокрита. Принципиальное отличие состоит в том, что гомеомерии делимы до бесконечности, т. е. для отдельной гомеомерии не существует никакого предела делимости» [3, с. 40]. По Анаксагору, весь мир состоит из бесконечного количества таких частиц, и каждая из них содержит в себе частицы вообще всех существующих в мире вещей: «Стало быть, в гомеомерии содержится и плоть, и кость, и кровь, и золото, и свинец, и сладкое, и белое, но вследствие малости они не воспринимаются нашими чувствами, хотя все содержится во всем» [4, с. 515]. Отличие же окружающих объектов друг от друга возникает вследствие того, что в каждой смеси различных частиц всё же преобладают частицы какого-то одного вещества. Напри-

мер, используя приведенную выше цитату, можно сказать, что, согласно Анаксагору, кость содержит и плоть, и кость, и кровь, и золото, однако кости в ней больше, поэтому она и воспринимается нашими органами чувств как кость. Философию Анаксагора часто характеризуют фразой «все во всем».

Понятия «большое» и «малое» в философии Анаксагора оказываются относительными. Если что-то является большим по сравнению с чем-то одним, то по сравнению с чем-то другим оно может быть малым. Поэтому мы не можем представить себе самую малую частицу, которая бы не могла делиться на еще более малые и простые части, поскольку по сравнению с любой малой величиной мы всегда можем найти еще меньшую, увеличив масштаб ее рассмотрения. И если физически это сделать может быть сложно, то мысленный эксперимент нам может это помочь осуществить.

Несмотря на возрастание или спад интереса к данным концепциям в зависимости от эпохи, обе из них дошли до наших дней и являются известными, как минимум, среди людей, интересующихся философией или изучающих ее в каком-либо учебном заведении. Странником концепции Анаксагора можно считать, например, французского математика и философа Нового времени Рене Декарта (1596–1650). Он утверждал, что существуют мельчайшие частицы, делимые до бесконечности, из которых состоит вся материя. Такие частицы не обладают массой и силой притяжения.

Интерес к атомистической гипотезе был возвращен благодаря работам другого французского математика, философа и священника Пьера Гассенди (1592–1655). Являясь последователем философии Эпикура, он утверждал, что существуют атомы, обладающие формой, массой, из которых состоят все окружающие объекты, а также теплота, свет и прочее. Атомов существует не бесконечное количество, однако кажущееся многообразие окружающих вещей происходит оттого, что даже ограниченное количество атомов может соединяться по-разному, в результате чего может образовываться множество разных соединений, обладающих разными свойствами. В связи с этим Гассенди ввел понятие «молекула» (в пер. с латинского – уменьшительное от слова «масса»), обозначающее небольшую группу атомов.

Но наибольшую популярность принес атомизму английский ученый Джон Дальтон (1766–1844), не только приняв эту ставшую уже известной гипотезу, но и развив ее и научно обосновав. Обратив внимание на то, что, например, один и тот же объем воды всегда обладает одной и той же массой, и что то же наблюдается со всеми другими веществами, он сделал вывод, что должны существовать однородные частицы, образующие различные вещества, которые обладают одинаковыми свойствами, в том числе и массой, и их число хоть и велико, но не может быть бесконечно. Введя понятие «атомный вес», Дальтон стал первым ученым, составившим таблицу атомных весов некоторых известных на тот момент времени химических элементов. Благодаря принятию атомистического

учения Дальтону удалось открыть и объяснить закон кратных отношений. Так, гипотетическая концепция Демокрита стала научной теорией, а несмотря на то что атом еще оставался для человека невидимым, понятие атома приобрело вполне конкретный смысл.

В результате описанных выше и других многочисленных опытов гипотеза, высказанная и развитая античными атомистами, одержала победу над гипотезой Анаксагора. Слово «атом» известно, наверное, каждому человеку и прочно укрепилось в современной жизни, понятие «гомеомерия» – скорее всего, только людям, увлекающимся историей философии. Однако давайте взглянем на дальнейшее развитие современной науки, происходившее в рамках атомистической парадигмы.

«Разделить» неделимую частицу удалось в 1897 г.: Джозеф Томсон (1856–1940) открыл частицу, которая обладала отрицательным зарядом, а ее масса была примерно в тысячу раз меньше массы легчайшего атома – водорода. Так был открыт электрон. В 1911 г. Эрнест Резерфорд (1871–1937) выдвинул предположение, согласно которому в атоме существует ядро, обладающее положительным зарядом, и предложил планетарную модель атома. По этой модели, электроны вращаются в атоме вокруг ядра подобно планетам, вращающимся вокруг Солнца. Оказалось, что частица, которую более двух тысяч лет называли неделимой, имеет структуру и состоит из еще более мелких частиц. А еще через 2 года Резерфорд предположил существование неделимой положительной частицы, которая была названа протон. Наконец, в 1932 г. Джеймсу Чедвику (1891–1974) удалось обнаружить третью частицу, входящую в состав атома, которая не обладает зарядом, но имеет массу примерно равную массе протона. Эту частицу называли нейтрон.

В связи с открытием делимости атома в физике в середине XX в. возникло понятие элементарной частицы – мельчайшей неделимой частицы, из которой состоит вся материя. Недавно открытые электрон, протон, нейтрон, а также некоторые другие стали считаться такими частицами. Поиск неделимого основания материи продвинулся еще на один уровень «вглубь». Однако научные открытия продолжились. Оказалось, что некоторые из таких элементарных частиц также делимы. Так, в 1963 г. независимо друг от друга сразу тремя физиками – Андре Петтерманом (1922–2011), Марри Гелл-Манном (род. 1929) и Джорджем Цвейгом (род. 1937) – были теоретически предсказаны и затем обнаружены более мелкие частицы, из которых состоят протоны и нейтроны – кварки [5]. Кварки бывают разных типов. Например, и протоны и нейтроны состоят из трех кварков разного типа. Мало того, что атомы, так теперь уже и элементарные частицы оказались неэлементарными и делимыми. В связи с этим в квантовой физике был введен еще один термин – «фундаментальная частица», – которой и стал считаться кварк. Термин же «элементарная частица» стал употребляться для обозначения мелких частиц, которые не являются атомами или атомными ядрами, в целом. Наконец, в 1970-е гг. появилась гипотеза, до сих пор не подтвержденная экспериментально, что кварки, в свою очередь, могут также состоять из

более мелких частиц – преонов (протокварков). Что касается электронов, несмотря на то что они всё же пока считаются фундаментальными частицами, в научной литературе периодически появляются публикации относительно открытия сложной структуры электрона. Например, в 2012 г. в журнале «Nature» вышла статья, в которой говорилось о том, что электрон может быть разложен на три фундаментальные частицы: холон (отвечает за заряд), спинон (отвечает за спин) и орбитон (отвечает за положение в пространстве), о чем высказывались первые предположения еще в 1980-е гг. [6]. Открытия физики XX в. привели к тому, что на данный момент известно огромное количество элементарных частиц, и их количество постоянно увеличивается.

В связи с данными открытиями в области физики элементарных частиц стали возникать теории о подобии микро- и мегамиров. Они получили название теории бесконечной вложенности материи. Коротко говоря, согласно этой теории, в малом повторяется большое. Первые подобные теории возникли в начале XX в. и получили распространение в связи с появлением планетарной модели атома Резерфорда – Бора, в которой структура атома оказывалась подобной структуре Солнечной системы. Справедливости ради нужно отметить, что вскоре учеными было доказано, что это всё же не так, что электрон имеет корпускулярно-волновую природу, а согласно принципу неопределенности Гейзенберга электрон не может быть четко локализован в пространстве, и поэтому его орбиту правильнее понимать как область пространства, в которой электрон может быть обнаружен с вероятностью 90 %. Тем не менее идеи нахождения подобия и симметрии становились более популярными и иногда подтверждались опытами [7].

Знаковым событием стали работы математика Бенуа Мандельброта (1924–2010). В 1970-е гг. он ввел понятие «фрактал» и дал его определение: «Фракталом называется структура, состоящая из частей, которые в каком-то смысле подобны целому» [8, с. 14]. Основной характеристикой фрактала является его одинаковая (похожая) структура при рассмотрении в разных масштабах. Фрактальная геометрия предложила новый взгляд на окружающий мир. Оказалось, что многие объекты окружающего мира обладают самоподобием, которое, к тому же, может быть описано языком математики. Фракталы мы можем увидеть при рассмотрении деревьев и растений, географических объектов Земли, снежинок и узоров на окнах, облаков и др. В книге «Фрактальная геометрия природы» (1977) Мандельброт приводит примеры фракталов, встречающихся в природе. Например, длина береговой линии значительно зависит от того, под каким масштабом мы будем ее рассматривать: при небольшом масштабе ее небольшие изгибы будут незаметны, при увеличении масштаба ее длина увеличится, так как нам придется огибать ее появившиеся изгибы; наконец, при увеличении масштаба рассмотрения береговой линии до того, что мы сможем видеть каждый камень и песчинку, длина береговой будет устремляться к бесконечности. Рассматривая броуновское движение частицы и ставя отметки о ее положении в пространстве

с разным периодом, можно получить совершенно разные «траектории» движения частицы одинаковой сложности, причем длина траектории при уменьшении периода рассмотрения аналогично длине береговой линии возрастает к бесконечности [9].

Примеры самоподобия и повторения структуры мы можем увидеть не только в физике элементарных частиц, но и при изучении космических объектов. Ряд ученых обратили внимание на явление кластеризации галактик, которое с течением развития Вселенной начинает проявляться всё сильнее. Оно заключается в том, что галактики распространены во Вселенной не равномерно. До XX в. наша Вселенная считалась однородной, хотя разные ученые обращали внимание на то, что на небе видны туманности, природа которых оставалась неясной. И хотя ряд ученых предполагал, что эти туманности могут являться скоплениями далеких звезд (например, Иммануил Кант), экспериментально это удалось подтвердить только Эдвину Хаббл (1889–1953) в 1924 г., когда он доказал, что Туманность Андромеды состоит из звезд, которые не принадлежат нашей галактике и отделены от нашей галактики Млечный Путь значительным расстоянием. Уже в 1930-е гг. оказалось, что такие скопления звезд неоднородны и объединяются в скопления галактик (кластеры). Такие скопления разделены пустотой. Более того, для всех скоплений справедливо правило: чем больше размер скопления, тем меньшая плотность числа галактик находится в нем. В 1960-е гг. было открыто, что существует еще более высокий иерархический уровень, и скопления галактик объединяются в сверхскопления (суперкластеры). Наконец, в конце XX – начале XXI в. возникло предположение, что сверхскопления могут являться частями более крупных структур. На данный момент эффект кластеризации галактик наблюдается на масштабах 1–1000 мегапарсек [10].

Приведенные примеры показывают, что самоподобные структуры обнаруживаются в совершенно разных областях, а использование фрактальной геометрии может привести к удачным результатам. Фракталы используются в радиотехнике при конструировании фрактальных антенн. Например, антенна, построенная на основе кривой Коха, обладает лучшими широкополосными и всенаправленными свойствами по сравнению с обычными антеннами тех же размеров, поскольку по сравнению с ними позволяет реализовать на той же поверхности кривую с большим периметром [11]. Также использование фрактальных антенн позволяет не только улучшать эксплуатационные характеристики антенн, но и создавать новые режимы с принципиально новыми свойствами [12, с. 9]. В последнее время становится популярным использование фракталов в компьютерной графике. Фракталы применяются в криминалистике для экспертизы и спектрального анализа звуковых фонограмм на предмет монтажа [13]. Фрактальные алгоритмы используются для сжатия изображений и видеозаписей с потерями. В изображениях находятся самоподобные области, а сжатие происходит благодаря масштабируемости фрактального преобразования [14]. Такое сжатие позволяет уменьшить

объем исходного изображения в десятки раз. Поскольку при помощи фракталов возможно моделировать сигналы, почти не отличимые от шумов, то фрактальное кодирование информации перспективно в смысле создания защищенных каналов связи и «маскирования» информации [15]. Применение фракталов в медицине позволяет моделировать системы внутренних органов, например сосудов. Основным преимуществом применения фракталов в моделировании в целом является возможность создания моделей на основе сложных фигур, что позволяет моделировать более сложные объекты: при помощи фракталов можно моделировать биологические организмы и их системы, нейронные сети, природные явления и объекты и пр. [16]. Про возможность использования фракталов для моделирования процессов в экономике говорил еще сам Мандельброт, причем несмотря на наличие некоторых ошибок в предсказаниях, он обращал внимание, что его экономические модели дают прогнозы не хуже других существующих на данный момент времени моделей. Некоторые современные лингвисты рассматривают человеческий язык как фрактальную структуру, а исследование самоподобных структур помогает производить более глубокий анализ текста [17]. Наконец, можно обратить внимание, что наука в своем развитии проходит ряд повторяющихся этапов на разных уровнях, т. е. в самой истории науки присутствуют самоподобные структуры. Например, известен принцип соответствия Нильса Бора, согласно которому в науке старые истинные теории при появлении новых, более современных не отвергаются, а становятся их частными случаями, т. е. старая теория включается в новую. Похожие мысли высказывал французский математик и философ науки Жан-Луи Детуш (1909–1980): «Если сформулированы две физические теории, то имеется возможность построить теорию, которая соединит их в одно целое или объединит» [18, с. 278]. Осознание теории всегда проходит определенные этапы: появившиеся теории часто кажутся сложными, революционными, не вписывающимися в общепризнанное представление, иррациональными, тогда как следующее поколение их воспринимает вполне ясными и рациональными (как, например, было с квантовой механикой) и предлагает свои еще более революционные теории. На фрактальную структуру науки, наличие повторения структур на разных уровнях указывали и другие ученые (например, Ли Сегель, Людвиг фон Бергаланфи).

Особенность фрактальных структур, встречающихся в реальном мире, заключается в том, что они являются не строго геометрическими (регулярными), как при математическом моделировании, а стохастическими (случайными). На их появление влияют случайные процессы, однако их части на разных уровнях и сама структура в целом обладают одинаковыми статистическими свойствами. Также фрактальные структуры, встречающиеся в природе, не являются бесконечными и поэтому имеют границы как сверху, так и снизу.

Перечисленные примеры демонстрируют, что в мире присутствуют регулярность и самоподобие, и они проявляются в различных областях:

природе, структуре элементарных частиц, космосе, компьютерной технике, языке, экономике, мышлении. Обращая внимание на то, что иногда некоторые особо настойчивые исследователи пытаются найти фракталы даже там, где их найти невозможно, фрактальный подход всё же часто оказывается продуктивным, поскольку описывает объекты и процессы, реально существующие и происходящие в природе. Фракталы предлагают новый взгляд на мир, благодаря которому он представляется не скоплением простейших элементарных составляющих, а сложной системой, тем не менее обладающей сходством на разных уровнях и масштабах. Такой подход на данный момент начинает развиваться в науке, следовательно, возвращаясь к началу статьи, можно сделать вывод, что позиция Анаксагора «всё во всем», если и не является единственно верной, то все же незаслуженно забыта и более справедлива, чем может показаться. Возможно, именно диалектическое использование концепций атомизма и самоподобия окажется наиболее продуктивным в будущей науке.

### Литература

1. Материалисты Древней Греции : собрание текстов Гераклита, Демокрита и Эпикура. – М. : Гос. изд. полит. лит., 1955. – 238 с.
2. *Лукреций Т. К.* О природе вещей / Т. К. Лукреций ; пер. с лат., вступ. ст. и коммент. Ф. А. Петровского. – М. : АН СССР, 1958. – 260 с.
3. *Орлов С. В.* История философии / С. В. Орлов. – СПб. : Питер, 2009. – 192 с.
4. Фрагменты ранних греческих философов. Ч. 1: От эпических теокосмогоний до возникновения атомистики / ред. И. Д. Рожанский ; сост. А. В. Лебедев. – М. : Наука, 1989. – 575 с.
5. *Петров В. А.* Кто и как открыл кварки / В. А. Петров // Научград : наука, производство, общество. – 2015. – № 1. – С. 6–10.
6. *Merali Z.* Not-Quite-So Elementary, My Dear Electron // Nature, 18 April 2012. doi:10.1038/nature.2012.10471.
7. *Саврухин А. П.* О подобии структур элементов макро- и микромира / А. П. Саврухин // Вестник Моск. гос. ун-та леса – Лесной вестник. – 2012. – № 7 (90). – С. 164–166.
8. *Деменов С. Л.* Фрактал : между мифом и ремеслом / С. Л. Деменов. – СПб. : Ринвол ; Академия исследования культуры, 2011. – 296 с.
9. *Мандельброт Б.* Фрактальная геометрия природы / Б. Мандельброт. – М. : Ин-т компьютерных исследований, 2002. – 656 с.
10. *Барышев Ю. В.* Фрактальный анализ крупномасштабного распределения галактик / Ю. В. Барышев, П. Теерикорпи // Бюллетень Специальной астрофизической обсерватории РАН. – 2006. – Т. 59. – С. 92–160.
11. *Никитин О. Р.* Фрактальная антенна на основе кривой Кох / О. Р. Никитин, В. М. Гаврилов, А. И. Федотчев // Методы и устройства передачи и обработки информации. – 2007. – Вып. 9. – С. 23–28.
12. *Боголюбов А. Н.* Анализ и синтез фрактальных диаграмм направленности антенн / А. Н. Боголюбов, А. А. Кобликов, Н. Е. Шапкина // Вестник Моск. гос. ун-та. Сер. 3, Физика, астрономия. – 2009. – № 6. – С. 3–10.

13. Рыбальский О. В. Экспериментальное подтверждение результатов моделирования механизма возникновения идентификационных признаков монтажа в цифровых фонограммах / О. В. Рыбальский, В. В. Журавель // Современные информационные и электронные технологии. – 2016. – № 17. – Т. 1. – С. 125–126.

14. Рябинин Е. А. Исследование методов обработки видеoinформации с использованием фрактальных и вейвлет-преобразований для эффективной ее передачи по защищенным IP-каналам / Е. А. Рябинин, Д. В. Уваровский, А. М. Голиков // Электронные средства и системы управления. – 2011. – № 1. – С. 27–33.

15. Горюшко И. А. Защита информационных систем с использованием методов случайного фрактального кодирования / И. А. Горюшко, Д. В. Строганов // Вестник Моск. автомобильно-дорожного гос. техн. ун-та (МАДИ). – 2003. – № 1. – С. 56–60.

16. Перерва Л. М. Фрактальное моделирование : учеб. пособие / Л. М. Перерва, В. В. Юдин. – Владивосток : Изд-во ВГУЭС, 2007. – 186 с.

17. Морозкина Е. А. Фрактальная структура художественного текста (на материале романа Френсиса Скотта Фицджеральда «Ночь нежна») / Е. А. Морозкина, З. М. Сафина // Вестник Башкир. ун-та. – 2015. – № 3. – Т. 20. – С. 969–973.

18. Башляр Г. Философское отрицание / Г. Башляр // Новый рационализм. – М. : Прогресс, 1987. – 376 с.

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения*

*Коломийцев С. Ю., кандидат философских наук, доцент кафедры истории и философии*

*E-mail: kolomiytsev@yandex.ru  
Тел.: 9(812) 708-42-13*

*Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation*

*Kolomiytsev S. Yu., Ph. D. (philosophy), Associate Professor of the History and Philosophy Department*

*E-mail: kolomiytsev@yandex.ru  
Tel.: 9(812) 708-42-13*