

# АНТРОПНЫЙ КОСМОЛОГИЧЕСКИЙ ПРИНЦИП

М. К. ГУСЕЙХАНОВ

Дагестанский государственный университет, Махачкала

## ANTROPIC COSMOLOGICAL PRINCIPLE

M. K. GUSEIKHANOV

*The principle ideas of antropic cosmological principle which means that the fundamental characteristics of the Universe, meanings of physical constants, the form of physical regularities are based on the fact of structurization of the Universe and presence in her sentient life are investigated.*

*Рассмотрены основные идеи антропного космологического принципа, состоящие в том, что фундаментальные свойства Вселенной, значения физических констант, форма физических закономерностей связаны с фактом структурности Вселенной и наличием в ней разумной жизни.*

[www.issep.rssi.ru](http://www.issep.rssi.ru)

## ВВЕДЕНИЕ

Идеи антропного космологического принципа, развивавшиеся в последнем столетии XX века, представляют большой научный интерес с точки зрения ответа на вопросы происхождения и эволюции окружающего мира. Основная идея этого принципа состоит в том, что фундаментальные свойства Вселенной, значения основных физических констант и даже форма физических закономерностей тесно связаны с фактом структурности Вселенной во всех масштабах — от элементарных частиц до сверхскоплений галактик — с возможностью существования условий, при которых возникают сложные формы движения материи, жизнь и человек.

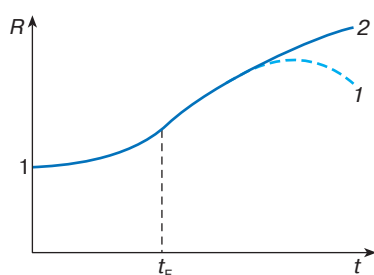
Проблема возникновения структурности мира и жизни во Вселенной традиционно трактуется следующим образом: окружающая нас Вселенная обладает определенными физическими свойствами и закономерностями, познаваемыми нами. Как в таком случае происходит эволюция Вселенной, приводящая к достаточно сложным структурам, как зарождается и эволюционирует в такой Вселенной жизнь? От ответа на эти во многом еще не решенные вопросы зависит возможность существования жизни в других областях Вселенной, в другие времена и направления ее поиска.

Любая физическая теория, например уравнения Максвелла в электродинамике, ставит перед собой задачу дать полное физическое описание той или иной системы, если известен полный набор начальных данных, поскольку в различных физических явлениях начальные данные различны. Но когда мы обращаемся к космологии, вопрос о начальных данных и фундаментальных постоянных неразрывно связан с тем, почему Вселенная именно такая, какой мы ее наблюдаем. Прежде чем подойти к ответу на этот вопрос, рассмотрим, какими представляются современному естествознанию начальные условия нашей Вселенной.

## 1. СОВРЕМЕННАЯ КОСМОЛОГИЯ

Наиболее важным в современной стандартной космологической модели Вселенной является вопрос о свойствах ранней Вселенной. Удовлетворительное описание

свойств ранней Вселенной дается в модели В. де Ситтера. Более поздние промежутки эволюции Вселенной даются в модели А.А. Фридмана. Возникающая при этом зависимость размеров Вселенной от времени может быть примерно описана кривой, показанной на рис. 1. Время перехода от деситтеровской (1) стадии расширения ( $I$ ) к фридмановской (2) обозначено через  $t_F$ . Физический смысл времени  $t_F$  в том, что оно показывает момент радикального изменения закона расширения Вселенной. Переход от одного закона к другому в момент  $t_F$  означает радикальное изменение основных свойств Вселенной в этот момент, изменение ее фазового состояния.



**Рис. 1.** Зависимость радиуса Метагалактики от времени в модели де Ситтера–Фридмана.  $t_F$  – фридмановское время

Модель экспоненциального роста размеров Вселенной де Ситтера  $R \sim \exp(Ht)$  на начальной стадии ее эволюции получила название модели раздувающейся Вселенной [1]. По этой модели при  $t \rightarrow 0$  вся энергия мира была заключена в его вакууме. Деситтеровская стадия расширения длилась примерно  $10^{-35}$  с. Все это время Вселенная быстро расширялась, заполняющий ее вакуум как бы растягивался без изменения своих свойств. Образовавшееся состояние Вселенной было крайне неустойчивым, энергетически напряженным. В таких случаях достаточно возникновения малейших неоднородностей, играющих роль случайной затравки, чтобы вызвать переход в другое состояние (в качестве примера можно привести явление кристаллизации). При переходе вакуума в другое состояние мгновенно выделилась колоссальная энергия за счет разности его начального и конечного состояний. Примерно за  $10^{-32}$  с пространство раздулось в громадный раскаленный шар с размерами много большими видимой нами части Вселенной. При этом произошло рождение из вакуума реальных частиц, из которых со временем сформировалось вещество нашей Вселенной.

В последнее время усиленно обсуждаются причины того первотолчка, который был началом расширения нашей Вселенной. Один из возможных механизмов,

основанный на гипотезе о существовании кванта единого пространства–времени, описан в теории инфляционной Вселенной. Рассмотрим ее основные положения и выводы.

А. Эйнштейн выдвинул идею о существовании космического отталкивания. Если учесть эти силы в уравнениях динамики Вселенной, то полное ускорение оказывается равным

$$a = a_{\text{тяг}} + a_{\text{отт}}.$$

Ускорение тяготения  $a_{\text{тяг}}$ ,

$$a_{\text{тяг}} = -\frac{GM}{R^2},$$

а ускорение отталкивания  $a_{\text{отт}}$  в соответствии с гипотезой Эйнштейна пропорционально  $R$ :

$$a_{\text{отт}} = \text{const} \cdot R.$$

Числовое значение константы в этой формуле можно найти определив среднюю плотность вещества  $\rho$  во Вселенной. В настоящее время считается, что  $\rho$  очень близко к  $10^{-29}$  г/см<sup>3</sup> и

$$a_{\text{отт}} = \frac{\Lambda c^2}{3} R,$$

где  $\Lambda$  – космологическая постоянная, равная  $\sim 10^{-56}$  см<sup>-2</sup>.

Рассмотрим случай, когда во Вселенной нет вещества, она пуста. При этом  $M = 0$  и  $a_{\text{тяг}} = 0$ . Динамика Вселенной описывается ускорением  $a_{\text{отт}}$ . Можно показать, что при этом две пробные частицы, помещенные в такую пустую Вселенную, будут удаляться друг от друга по закону

$$R = R_0 \exp\left(\sqrt{\frac{\Lambda}{3}} ct\right).$$

Согласно современным концепциям естествознания, вакуум не пустота, в физическом вакууме происходят процессы рождения и уничтожения виртуальных частиц. Это своеобразное кипение вакуума нельзя устранить, ибо оно означало бы нарушение одного из основных законов квантовой физики, а именно соотношения неопределенностей Гейзенберга. Как показал Я.В. Зельдович в 1967 году, в результате взаимодействия виртуальных частиц в вакууме появляется некоторая плотность энергии и возникает отрицательное давление. Такое вакуумподобное состояние неустойчиво, и с течением времени оно распадается, превратившись в обычную горячую материю. Энергия вакуумподобного состояния перейдет в энергию обычной материи, гравитационное отталкивание сменится обычной гравитацией, замедляющей расширение. С этого момента Вселенная начнет развиваться по известной стандартной космологической горячей модели эволюции.

Рассмотрим исходные положения этой модели и ее основные результаты.

Горячая модель Вселенной, как и любая другая, исходит из наблюдаемого в настоящее время факта ее расширения и объясняет три достоверно установленных факта: наличие барионной асимметрии Вселенной; космическое отношение числа фотонов к числу барионов, примерно равное  $10^9$ ; однородность и изотропность реликтового излучения. Теория Большого Взрыва в наши дни считается общепринятой. Согласно этой теории, наша Вселенная развивалась из первоначального состояния, которое можно представить в виде сгустка сверхплотной раскаленной материи. Излучение и вещество в нем находились в тепловом равновесии. В этой ранней Вселенной фотоны эффективно взаимодействовали с веществом, число частиц было равно числу античастиц.

Для объяснения барионной асимметрии Вселенной предполагается, что распад лептокварков происходит с превышением числа рождающихся кварков над антикварками. Исходя из наблюдаемой сейчас барионной асимметрии, число кварков должно относиться к числу антикварков как  $1\,000\,000\,001 : 1\,000\,000\,000$ . Физическим обоснованием такого предположения является существование в микромире процессов, идущих с нарушением зарядовой симметрии (распад  $K^0$ -мезонов). При этом важным является то, что барионная асимметрия не зависит от начальных условий. Родившиеся в результате распада лептокварков антикварки и кварки аннигилируют, небольшой же избыток кварков выживает и является материалом, из которого строится вещество Вселенной. Нейтроны и протоны — основные строительные элементы нашего вещества — появляются через  $10^{-6}$  с после Большого Взрыва. До времени  $t \approx 10^{-11}$  с подавляющая часть энергии сгустка заключена в излучении, после этого момента в связи с образованием протонов — в веществе. По мере расширения и остывания Вселенной в момент времени  $t = 3$  мин 44 с начинается образование стабильных ядер легких элементов — эра космологического нуклеосинтеза. Длительность этой эры невелика — всего полчаса. Рассчитанная по этой модели концентрация гелия во Вселенной (около 25% по массе) совпадает с данными астрофизических наблюдений.

После эры космологического нуклеосинтеза Вселенная тихо остывает. Ее температура снижается настолько, что электроны начинают соединяться с ядрами, образуя атомы. Энергии фотонов не хватает для их разрушения, с этого момента излучение отрывается от вещества. Дальнейшая эволюция излучения происходит в полном соответствии с законами теплового излучения. Теоретическое значение температуры этого реликтового излучения, дожившего до наших дней, в

точности соответствует экспериментальным данным. Таким образом, только водород и гелий образуются собственно в Большом Взрыве. Тяжелые элементы образуются позднее в недрах звезд и рассеиваются в пространстве благодаря звездным взрывам.

Для дальнейшего развития наиболее важным представляется то, что в первые мгновения образования нашей Вселенной сформировался весь тот набор физических закономерностей и фундаментальных постоянных, которые и обусловили ход последующей эволюции Вселенной.

## 2. ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ МИРОВЫЕ ПОСТОЯННЫЕ

Фундаментальные мировые постоянные — это такие константы, которые дают информацию о наиболее общих, основополагающих свойствах материи [2]. К таковым, например, относятся  $G$ ,  $c$ ,  $e$ ,  $h$ ,  $m_e$  и др. Общее, что объединяет эти константы, — это содержащаяся в них информация. Так, гравитационная постоянная  $G$  является количественной характеристикой универсального, присущего всем объектам Вселенной взаимодействия — тяготения. Скорость света  $c$  есть максимально возможная скорость распространения любых взаимодействий в природе. Элементарный заряд  $e$  — это минимально возможное значение электрического заряда, существующего в природе в свободном состоянии (обладающие дробными электрическими зарядами кварки, по-видимому, в свободном состоянии существуют лишь в сверхплотной и горячей кварк-глюонной плазме). Постоянная Планка  $h$  определяет минимальное изменение физической величины, называемое действием, и играет фундаментальную роль в физике микромира. Масса покоя  $m_e$  электрона есть характеристика инерционных свойств стабильной легкой заряженной элементарной частицы.

Константой некоторой теории мы называем значение, которое в рамках этой теории считается всегда неизменным. Наличие констант при выражениях многих законов природы отражает относительную неизменность тех или иных сторон реальной действительности, проявляющуюся в наличии закономерностей.

Сами фундаментальные постоянные  $G$ ,  $c$ ,  $e$ ,  $h$  являются едиными для всех участков Вселенной и с течением времени не меняются (об этом говорят наблюдения и стандартная теория), по этой причине их называют мировыми постоянными. Некоторые комбинации мировых постоянных определяют нечто важное в структуре объектов природы, а также формируют характер некоторых фундаментальных теорий. Так,  $\hbar^2/(m_e e^2)$  определяет размер пространственной области для атомных явлений, а  $m_e c^4/\hbar^2$  — характерные энергии для этих явлений.

Квант для крупномасштабного магнитного потока в сверхпроводниках задается величиной  $\hbar c/e$ . Предельная масса для стационарных астрофизических объектов определяется комбинацией  $(c\hbar/G)^{3/2}m_N^{-2}$ , где  $m_N$  — усредненная масса нуклона.

Анализ размерностей фундаментальных постоянных приводит к новому пониманию проблемы в целом. Отдельные размерные фундаментальные постоянные, как уже отмечалось выше, играют определяющую роль в структуре соответствующих физических теорий. Когда же речь идет о выработке единого теоретического описания всех физических процессов, формирования единой научной картины мира, размерные физические постоянные уступают место безразмерным фундаментальным константам, таким, как  $\alpha_s$ ,  $\alpha_e$ ,  $\alpha_w$ ,  $\alpha_g$ ,  $m_e/m_p$  и  $(m_n - m_p)/m_N$ . Роль этих постоянных в формировании структуры и свойств Вселенной очень велика. Постоянная тонкой структуры  $\alpha_e$  является количественной характеристикой одного из четырех фундаментальных взаимодействий, существующих в природе, — электромагнитного. Помимо электромагнитного взаимодействия фундаментальными взаимодействиями являются также гравитационное, сильное и слабое. Существование безразмерной константы электромагнитного взаимодействия  $\alpha_e = e^2/(\hbar c) \approx 1/137$  предполагает, очевидно, наличие аналогичных безразмерных констант, являющихся характеристиками остальных трех типов взаимодействий. Эти константы также характеризуются следующими безразмерными фундаментальными постоянными:

- константа сильного взаимодействия  $\alpha_s \approx 1$ ;
- константа слабого взаимодействия

$$\alpha_w = \frac{g_F m_p c^2}{\hbar^3} \approx 10^{-5},$$

где величина  $g_F = 10^{-5}/m_p \approx 10^{-61}$  Дж · м<sup>3</sup> — постоянная Ферми для слабых взаимодействий;

- константа гравитационного взаимодействия

$$\alpha_g = \frac{G m_p^2}{\hbar c} \approx 10^{-39}.$$

Числовые значения констант  $\alpha_s$ ,  $\alpha_e$ ,  $\alpha_w$  и  $\alpha_g$  определяют относительную силу этих взаимодействий. Так, электромагнитное взаимодействие примерно в 137 раз слабее сильного. Константы взаимодействия определяют также, насколько быстро идут превращения одних частиц в другие в различных процессах. Константа электромагнитного взаимодействия описывает превращения любых заряженных частиц в те же частицы, но с изменением состояния движения плюс фотон. Константа сильного взаимодействия является количественной характеристикой взаимных превращений ба-

рионов с участием мезонов. Константа слабого взаимодействия  $\alpha_w$  определяет интенсивность превращений элементарных частиц в процессах с участием нейтрино и антинейтрино.

Необходимо отметить еще одну безразмерную физическую константу, определяющую размерность физического пространства, которую обозначим через  $N$ . Для нас является привычным то, что физические события разыгрываются в трехмерном пространстве, то есть  $N = 3$ , хотя развитие физики неоднократно приводило к появлению понятий, не укладывающихся в здравый смысл, но отображающих реальные процессы, существующие в природе.

Таким образом, классические размерные фундаментальные постоянные играют определяющую роль в структуре соответствующих физических теорий. Из них формируются фундаментальные безразмерные постоянные единой теории взаимодействий  $\alpha_s$ ,  $\alpha_e$ ,  $\alpha_w$  и  $\alpha_g$ . Эти и некоторые другие константы, а также размерность пространства  $N$  определяют структуру Вселенной и ее свойства.

### 3. АНТРОПНЫЙ КОСМОЛОГИЧЕСКИЙ ПРИНЦИП

Почему из бесконечной области всевозможных значений фундаментальных физических постоянных, характеризующих физические взаимодействия, и бесконечного разнообразия начальных условий, которые могли существовать в очень ранней Вселенной, реализуются величины и условия, приводящие к вполне конкретному набору особенностей, наблюдаемых нами? В пространстве  $N$  измерений точечные источники взаимодействуют с силой  $F \sim 1/r^{N-1}$ , где  $r$  — расстояние между источниками. Можно показать, что устойчивые движения двух тел, взаимодействующих по такому закону, отсутствуют при  $N > 3$ . Еще в 20-е годы XX столетия П. Эренфест показал, что если бы число пространственных координат  $N$  было равно четырем, то не существовало бы замкнутых орбит планет и, естественно, Солнечной системы и человека. При  $N = 4$  была бы невозможна также атомная структура вещества. При  $N < 2$  движение происходит в ограниченной области. Только при  $N = 3$  возможны как связанные, так и несвязанные движения, что как раз и реализуется в наблюдаемой Вселенной.

Исследования показывают, что Вселенная, в которой мы живем, удачно приспособлена для нашего существования. Основные свойства Вселенной объясняются значениями нескольких фундаментальных постоянных (гравитационная постоянная, масса протона и электрона, заряд электрона, скорость света и др.).



В наблюдаемой Вселенной существует удивительное совпадение, вернее, согласование энергии расширения Вселенной и гравитационной энергии, значения фундаментальных констант гравитационного, сильного, электромагнитного взаимодействий имеют такие значения, что обеспечивают возможность возникновения галактик и звезд, в том числе стабильных, в которых термоядерные реакции протекают в течение многих миллиардов лет.

Для иллюстрации связи характеристик Вселенной с физическими константами представьте себе, что произошло бы при изменении значений фундаментальных мировых постоянных. Например, если бы масса электрона была в три-четыре раза выше ее нынешнего значения, то время существования нейтрального атома водорода исчислялось бы несколькими днями. А это привело бы к тому, что галактики и звезды состояли бы преимущественно из нейтронов и многообразия атомов и молекул, их в современном виде просто не существовало бы.

Современная структура Вселенной очень жестко обусловлена величиной  $\Delta m_n = m_n - m_p$ , то есть разницей в массах нейтрона и протона. Разность очень мала и составляет всего около  $10^{-3}$  от массы протона. Однако если бы она была в три раза больше, то во Вселенной не мог бы происходить нуклеосинтез и в ней не было бы сложных элементов. Увеличение константы сильного взаимодействия всего на несколько процентов привело бы к тому, что уже в первые минуты расширения Вселенной водород полностью выгорел бы и основным элементом в ней стал бы гелий.

Константа электромагнитного взаимодействия тоже не может существенно отклоняться от своего значения  $1/137$ . Если бы, например, она была  $1/80$ , то все частицы, обладающие массой покоя, аннигилировали бы и Вселенная состояла бы только из безмассовых частиц.

Достаточно было бы сравнительно небольшого отклонения констант от существующих в действительности, чтобы либо галактики и звезды вообще не успели возникнуть к нашему времени (если бы константа гравитационного взаимодействия была на 8–10% меньше), либо звезды эволюционировали слишком быстро (если бы она была больше на 8–10%). В соотношении констант обнаружены такие тонкости, что, например, константа сильного взаимодействия обеспечивает протекание ядерного синтеза в недрах звезд с образованием углерода и кислорода, которые поставляются в космос при взрыве сверхновых звезд и служат в дальнейшем материалом для формирования звезд второго поколения типа Солнца и планетных систем. Ясно, что даже небольшого отклонения от константы сильного взаимодействия было бы достаточно, чтобы жизнь на Земле оказалась невозможной. Если бы величины этих кон-

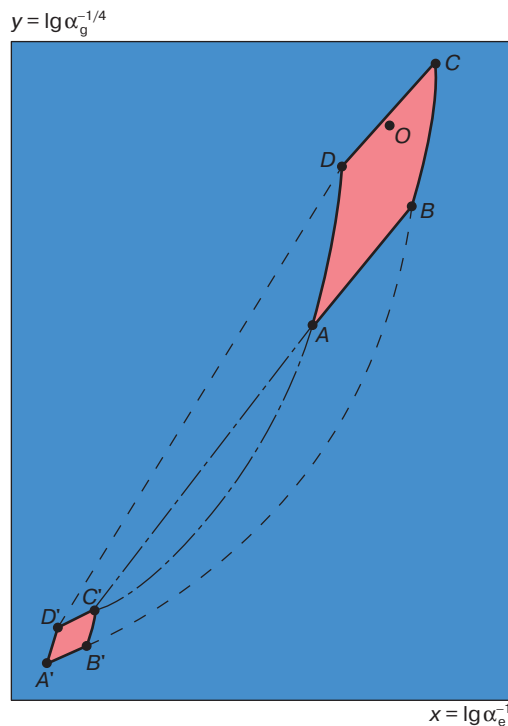
стант несколько отличались от их значений, то свойства Вселенной были бы совсем другими. Эти самые свойства являются условиями возникновения той формы жизни, которая существует на Земле. Сущность антропного принципа в том, что жизнь является неотъемлемой частью Вселенной, естественным следствием ее эволюции. Мы видим, таким образом, что наша реальная Вселенная поразительно приспособлена для возникновения и развития в ней существующей формы жизни. Можно сказать, что нам просто повезло — константы в Метагалактике оказались благоприятными для возникновения жизни, поэтому мы существуем и познаем Вселенную. Но наряду с такой Метагалактикой имеются многие другие с иными константами, с другим распределением материи, геометрией и даже, возможно, с другими размерностями пространства, совершенно неподходящими для жизни, с условиями, которые трудно вообразить.

Другие Метагалактики — это миры иных констант. Некоторые из них совсем непохожи на нашу Вселенную, но вполне возможно, что в каких-то метагалактиках есть и разумные существа.

Суть антропного принципа, сформулированного Г.М. Иддисом из Института истории естествознания РАН в 1958 году, в следующем: Вселенная такова, какой мы ее видим, поскольку в ней существуем мы, то есть наблюдатели, способные задаться вопросом о свойствах Вселенной. При других параметрах во Вселенной невозможны сложные структуры и жизнь в известных нам формах [3].

Выше было отмечено, что даже небольшие изменения фундаментальных постоянных приводят к качественным изменениям свойств Вселенной, в частности к невозможности существования сложных структур, а значит, и жизни [4].

Возможность согласованного и сильного изменения всего набора физических констант, параметров Вселенной (а в принципе и физических законов) так, чтобы получить модели других вселенных, в которых выполнены если не достаточные, то хотя бы необходимые условия для возникновения сложных структур и жизни, представляется интересной. Конечно, такая задача в полном объеме пока неразрешима, поэтому в работе [3] авторы ограничились рассмотрением возможных взаимосвязанных изменений двух констант  $\alpha_e$  и  $\alpha_g$ . Разрешенные области параметров  $x = \lg \alpha_e^{-1}$  и  $y = \lg \alpha_g^{-1/4}$  образуют два острова устойчивости структур (рис. 2). Точка  $O$  соответствует нашей Вселенной. Расчеты показывают, что в области  $A'B'C'D'$  образование сложных структур и жизни невозможно, так как минимальная масса объекта в этой области порядка



**Рис. 2.** Области, где появляются необходимые условия для возникновения жизни (точка  $O$  соответствует нашей Вселенной)

$10^{-5}$  г (масса пылинки). Вселенные же, в которых значения фундаментальных постоянных несколько отличаются от таковых в нашей Вселенной, но в которых также возможно существование жизни, могут существовать (область  $ABCD$ ). В ней выполняются необходимые для образования сложных структур условия, область же необходимых и достаточных условий может быть существенно меньшей.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В нашей Вселенной произошла довольно-таки точная подгонка числовых значений фундаментальных констант, необходимых для существования ее основных структурных элементов: ядер, атомов, звезд и галактик.

Их устойчивость создает условия для формирования более сложных неорганических и органических структур, а в конечном счете и жизни. Сущность антропного космологического принципа состоит в том, что жизнь является неотъемлемой частью Вселенной, естественным следствием ее эволюции. Из-за того, что в очень ранней Вселенной реализовались величины и условия, приведшие к вполне конкретным значениям современных фундаментальных физических постоянных, характеризующих физические взаимодействия, стало возможно наличие известной нам Вселенной, и мы имеем возможность познавать именно ее [5]. При этом возникает довольно интересный и сложный со всех точек зрения вопрос о причинах существования такой начальной подгонки значений фундаментальных постоянных. Будем надеяться на то, что ближайшее будущее науки даст ответ на этот вопрос.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Линде А.Д. Раздувающаяся Вселенная // Успехи физ. наук. 1984. Т. 144, вып. 2.
2. Спиридонов О.П. Фундаментальные физические постоянные. М.: Высш. шк., 1991. 236 с.
3. Новиков И.Д., Полнарев А.Г., Розенталь И.Л. Числовые значения фундаментальных постоянных и антропный принцип // Изв. АН ЭССР. 1982. Т. 31, № 3.
4. Розенталь И.Л. Физические закономерности и числовые значения фундаментальных констант // Успехи физ. наук. 1980. Т. 131, вып. 2.
5. Сутт Т.Я. Идея глобального эволюционизма и принцип антропности. М., 1986.

*Рецензент статьи* В.М. Липунов

\* \* \*

Магомедбаг Кагирович Гусейханов, доктор физико-математических наук, профессор Дагестанского государственного университета. Область научных интересов – физика полупроводников и полупроводниковая электроника, астрономия, мировоззренческие вопросы науки. Автор более 100 научных работ и восьми учебных пособий.