

III. ИНТЕЛЛЕКТ ВО ВСЕЛЕННОЙ

7

Астроинженерия, космологическая инженерия и возможные тренды Универсальной эволюции*

Дмитрий Александрович Новосельцев
Arch Mission Foundation

В статье рассматриваются перспективы Универсальной эволюции и роль астроинженерной деятельности в ней. Обосновывается потенциальная возможность последовательной эволюции космических цивилизаций от целенаправленного перемещения звезд и создания искусственных обитаемых звездных скоплений до создания искусственных вселенных и перемещения между ними с использованием ряда базовых технологий типа солнечных парусов, научно-технический задел по которым существует в настоящее время.

Ключевые слова: рукава Универсальной эволюции, разумная жизнь, космические цивилизации, шкала Кардашёва, солнечные паруса, двигатель Шкадова, звездные скопления, гравитационный коллапс, «маяки», космологический естественный отбор, керровские черные дыры, Мультиверс.

В ряде работ, посвященных универсальному эволюционизму (Панов 2009а и др.), отмечены два характерных тренда или рукава (инварианта) Универсальной эволюции.

* Автор выражает благодарность: научно-культурному центру SETI (НКЦ SETI) – за предварительную публикацию ряда материалов на портале Russian SETI (<http://Infml.sai.msu.ru/SETI/koi/articles/index.html>); почетному председателю НКЦ SETI, к. ф.-м. н., академику РАКЦ Л. М. Гиндилису – за проявленный интерес к теме, содействие публикации и ее обсуждению; руководителю НКЦ SETI, д. ф.-м. н., старшему научному сотруднику НИИЯФ МГУ А. Д. Панову – за активное участие в предварительном обсуждении материалов и прояснение ряда спорных моментов; к. ф.-м. н., доценту физического факультета МГУ, старшему научному сотруднику Государственного астрономического института им. П. К. Штернберга В. Г. Сурдину – за информацию о существующих возможностях обнаружения газовых следов, подобных следу действующего двигателя Шкадова, на примере исследования звезды Мира в проекте GALEX; члену ученого совета НКЦ SETI Л. Н. Филипповой – за участие в обсуждении материалов; представителям организации Initiative for Interstellar Studies (I4IS, Великобритания, <https://i4is.org/>) Джону Дэвису (John Davies), Андреасу Хейну (Andreas Hein, Ph.D.), Патрику Махону (Patrick Mahon), Роберту Кеннеди III (Robert Kennedy III) – за активное участие в обсуждении материалов и их публикацию в профильном издании Principium (<https://i4is.org/publications/principium/>) в 2017–2018 гг.

В более раннем первом рукаве, до возникновения звезд, эволюция идет с замедлением, во втором рукаве, начиная с предбиологической химической эволюции, – с ускорением. В обоих рукавах эволюции имеет место процесс диспропорционирования энтропии, но в первом рукаве для него не требуется внешний источник энергии, а во втором рукаве он необходим.

Возможность существования третьего рукава после прохождения так называемой сингулярности второго рукава и тем более его характер остаются дискуссионными и в значительной степени спекулятивными. В качестве предельного состояния второго рукава, как правило, представляется высокотехнологичная цивилизация, аналогичная современной, типа 1 или «около 1» (1– или 0+) по шкале Кардашёва, с некоторой экстраполяцией технологического уровня, прежде всего в части так называемого «искусственного интеллекта», относительно достигнутого.

В то же время рядом авторов (Панов 2009б и др.) отмечается проблема так называемого «конца науки», под которым понимается прежде всего резкое снижение получения значимых результатов в фундаментальной науке при столь же резком увеличении расходов, необходимых для получения этих результатов, практически до физических пределов. Предполагается, что подобный «коллапс» фундаментальной науки приведет к более медленному, но все же неизбежному ограничению развития прикладной науки, затем любой созидательной деятельности в целом и может являться «естественным» ограничителем научно-технического прогресса. Такой механизм в космическом масштабе может рассматриваться как один из вариантов так называемого «Великого фильтра», препятствующего формированию космических (сверх)цивилизаций (КЦ) (Hanson 1998).

Тем не менее можно показать, что подобное ограничение не является фундаментальным ограничением дальнейшей эволюции в целом, и обозначить некоторые ее возможные тренды.

Можно предположить, что технологические возможности, сформировавшиеся к концу второго рукава, будут включать такие технологии, как массовое автоматизированное производство с элементами саморепликации средств производства и бестопливные транспортные системы открытого космоса типа солнечных или электрических солнечных парусов (Novoseltsev 2014), проекты и ранние прототипы которых уже существуют в настоящее время.

Подобные технологии позволяют КЦ (в том числе современной цивилизации в ее последующем развитии) осуществлять в течение длительного времени строительство масштабных астроинженерных сооружений типа двигателя Шкадова, выполненных в виде роев относительно простых автономных автоматических космических аппаратов, возможно, с элементами «искусственного интеллекта» (Novoseltsev 2014; 2017b; 2017c). Подобная

деятельность примерно соответствует началу третьего, «экзогуманитарного» (Панов 2013 и др.) рукава Универсальной эволюции, характеризующегося, аналогично первому рукаву, общим замедлением и снижением интенсивности процессов и инерционным развитием за счет использования ресурсов и достижений предшествующих периодов, и формальному переходу к типу 2 по шкале Кардашёва. Механизмы, обеспечивающие устойчивость эволюционного процесса на протяжении данного периода, требуют дополнительного изучения, но значительную роль в ней может играть возрастание SETI-METI-активности КЦ как одного из основных видов деятельности (Панов 2013).

Подобная активность в сочетании с использованием «звездных машин» типа двигателя Шкадова (Shkadov 1987 и др.) может в дальнейшем проявляться в управляемом сближении звезд различных КЦ и их группировке в обитаемые искусственные звездные скопления. При этом численность КЦ в единичном скоплении может достигать тысяч и более, расстояния между звездами – порядка световых недель, возможно, световых дней, а обмен информацией – как по электромагнитным каналам связи, так и при перелетах космических аппаратов – может быть реализуем за приемлемые для КЦ сроки (Novoseltsev 2017b). Процесс локализации КЦ в ограниченной области, сопровождаемый нелинейным усложнением связей между ними, подобен процессу цефализации в биологической эволюции, за счет которого масса нейронов не распределяется равномерно во всем организме, а локализуется в компактном специализированном органе – головном мозге, чем обеспечивается значительно более высокая скорость и интенсивность их взаимодействия. Такая группа в значительной степени интегрированных КЦ соответствует типу 2+ по шкале Кардашёва, а возрастающая интенсификация их взаимодействия соответствует началу четвертого рукава Универсальной эволюции с ускорением процессов, аналогично второму рукаву.

Можно отметить, что первая версия прогноза автора с подобными допущениями (Новосельцев 2014) не привлекла особого внимания, поскольку идея о целенаправленном перемещении и группировке звезд в целом являлась маргинальной. Однако в последние годы подобные концепции ряда независимых авторов получили заметное развитие (Hooper 2018 и др.). Очевидно, деятельность гипотетических КЦ Д. Хупера по аккумуляции энергии стабильных звезд в искусственных скоплениях не противоречит рассматриваемой деятельности КЦ по формированию подобных плотных искусственных скоплений в коммуникативных целях.

С учетом крайне низкого ускорения, развиваемого «звездными машинами» типа двигателя Шкадова (для такой звезды, как Солнце, со светимостью $3,85 \times 10^{26}$ Вт и массой $1,99 \times 10^{30}$ кг, общая тяга, производимая полным отражением половины солнечного излучения, составит $1,28 \times$

$\times 10^{18}$ Н, соответственно, ускорение около $6,4 \times 10^{-13}$ м/с²), продолжительность третьего рукава может составлять от десятков миллионов до миллиарда лет. Возможность строительства искусственных звездных скоплений в галактиках в этом случае определяется исходной численностью и распределением КЦ – независимых заинтересованных участников процесса.

Имеющиеся оценки достаточно пессимистичны. Средние расстояния между существующими КЦ могут составлять порядка десятков килопарсеков (Anchordoqui *et al.* 2017), что исключает какое-либо реальное взаимодействие между ними. Проблема может быть частично решена путем искусственного формирования условий для возникновения разумной жизни многими «первичными» КЦ, включая современную (Novoseltsev 2017a; Новосельцев 2018; Gros 2016), и дальнейшего автокаталитического ускорения процесса. Реализация подобных проектов, особенно проекта «Катализ», предполагающего использование простейших технических средств типа солнечных парусов, может быть начата уже современной цивилизацией, то есть к концу второго – началу третьего рукава Универсальной эволюции.

В ситуации, когда число одновременно существующих в галактике КЦ, способных создавать астроинженерные конструкции типа двигателей Шкадова, мало, а расстояния между ними крайне велики, и продолжительность сближения звезд значительно превышает время их жизни на главной последовательности, в искусственные скопления могут собираться уже не стабильные звезды класса G и K, и даже не красные гиганты, а белые карлики. В дальнейшем такие искусственные скопления будут долгоживущими и устойчивыми, обеспечивая стабильные условия для развития четвертого рукава Универсальной эволюции.

Как рассматривалось ранее (Novoseltsev 2017b), основной деятельностью интегрированных КЦ искусственного скопления может быть производство и потребление «экзогуманитарной» (Панов 2013) информации при примерно постоянном уровне технологического развития. После исчерпания доступных в скоплении независимых источников подобной информации в процессе взаимодействия КЦ единственным доступным источником останутся крайне отдаленные аналогичные скопления других галактик, продолжительность обмена электромагнитными или иными сигналами с которыми является неприемлемо большой. Решение может заключаться в дальнейшей реконструкции искусственного скопления, а именно в дальнейшем сближении его объектов – белых карликов – с использованием тех же двигателей Шкадова или аналогичных конструкций, с образованием объекта, аналогичного сверхмассивной черной дыре. Возможность существования квазистойчивых орбит достаточно сложной конфигурации внутри таких объектов, позволяющих разместить обитаемые звездные

системы скопления, обоснована ранее (Dokuchaev 2011; 2012). Звезды, оснащенные «звездными двигателями», даже на квазиустойчивых орбитах в определенных условиях могут сохранять свое положение неограниченно долго.

Релятивистское замедление времени при значительном искривлении пространства вокруг искусственного скопления при его управляемом коллапсе с позиции внешнего наблюдателя будет соответствовать ускорению времени в окружающем мире. В этом случае ответ на сигналы, направленные другим аналогичным КЦ типа 2+, могут быть получены в конечные и весьма краткие сроки. При этом КЦ может быть получен максимальный объем «экзогуманитарной» информации от всех пожелавших вступить с ней в контакт КЦ за все время существования Вселенной после этого момента, включая неопределенно далекое будущее. Можно отметить, что КЦ, достигшие подобного этапа развития, перемещаются в другой «темпомир» относительно окружающей среды. Определяющей характеристикой темпомира является общая скорость развития всех входящих в него структур, самосогласованных процессов и явлений (Князева, Курдюмов 2002). Так, геологические и исторические процессы на Земле развиваются в одном локальном пространстве, но в разных темпомирах.

В рамках Универсальной эволюции этот процесс будет соответствовать «сингулярности» четвертого рукава, при наступлении которой скорость и интенсивность обработки информации стремятся к бесконечности, после чего КЦ полностью исчезает из наблюдаемой Вселенной.

Для организации межгалактической связи за пределами скопления перед его управляемым коллапсом могут размещаться «маяки», которые представляют собой часть объектов скопления со «звездными двигателями», остающихся за пределом искусственной сверхмассивной черной дыры на значительном удалении от горизонта событий на устойчивых орбитах. Используя эффект гравитационной линзы объекта массой порядка миллиона солнечных, «маяки» могут эффективно осуществлять прием и передачу сообщений в пределах всей доступной наблюдению части Вселенной.

Для возможности ведения диалога в отсутствие создавшей их КЦ типа 2+, с которой возможна только односторонняя связь по передаче данных за горизонт событий, «маяки» должны сами обладать некоторой субъектностью, то есть быть способными идентифицировать и декодировать сигналы «маяков» других КЦ и отвечать на них, а также, с учетом располагаемых энергетических ресурсов, являться самостоятельными КЦ типа 2.

Таким образом, система межгалактических «маяков» может являться следующим иерархическим уровнем развития материи над интегрирован-

ными КЦ искусственных звездных скоплений, возможно, наиболее высоким из достижимых в отдельной Вселенной.

Интересно рассмотреть дальнейшие перспективы Универсальной эволюции.

Возможные в рамках современных физических моделей гипотетические способы перемещения представителей высокоразвитых КЦ между различными вселенными Мультиверса включают так называемые «керровские черные дыры». Это гипотетическая разновидность быстро вращающихся гравитационно сколлапсированных объектов, центральная сингулярность которых представляет собой не точку, а достаточно широкое кольцо, пронизанное извне. Для массивного объекта массой 4×10^9 масс Солнца радиус кольца составит порядка 75 а. е., что допускает прохождение через него целых групп звезд, оснащенных устройствами типа двигателя Шкадова. При этом прохождение объекта извне через кольцевую сингулярность может завершиться его выходом в другой вселенной Мультиверса. Данная концепция была представлена, в частности, в докладе А. Д. Панова «Проблема SETI в космологии Мультиверса» на семинаре по космической философии НКЦ SETI совместно с секцией «Жизнь и разум во Вселенной» Научного совета по астрономии РАН и Научного совета по астробиологии РАН 16 февраля 2018 г. С инженерной точки зрения, возможно создание вращающейся кольцевой сингулярности при управляемом гравитационном коллапсе искусственного звездного скопления с использованием двигателей Шкадова или их аналогов (Novoseltsev 2018).

В этом случае объединенная КЦ искусственно сколлапсированного звездного скопления, собрав всю доступную информацию об исходной вселенной, получает возможность переместиться в другую вселенную Мультиверса. Там КЦ сможет продолжать свою деятельность – если условия для этого в другой вселенной достаточно благоприятны. Она должна обладать достаточно высокой сложностью, включая существование автохтонных высокоорганизованных КЦ, и представлять интерес для изучения.

В одной из последних работ Стивена Хокинга (Hawking, Hertog 2018) утверждается, что количество возможных вариантов вселенных в Мультиверсе достаточно ограничено, и их фундаментальные константы не могут принимать произвольные значения. В то же время в ряде других работ (Barnes *et al.* 2018; Salcido *et al.* 2018) показано, что изменение такой фундаментальной константы, как космологическая постоянная Λ , даже в широких пределах не оказывает значительного влияния на возможность образования галактик. В таком случае доля пригодных для существования разумной жизни вселенных в Мультиверсе может быть велика.

Вероятно, возможно и произвольное создание искусственных вселенных с необходимыми условиями.

Известна оригинальная концепция Ли Смолина (Smolin 2006) – «размножения вселенных» (fecund universes), называемая также теорией «космологического естественного отбора» (CNS, Cosmological Natural Selection). Согласно этой гипотезе, «по ту сторону» черной дыры возникает новая вселенная, в которой фундаментальные физические постоянные могут отличаться от значений для вселенной, содержащей эту черную дыру. Разумные наблюдатели могут появиться в тех вселенных, где значения фундаментальных постоянных благоприятствуют появлению жизни. Предполагается, что жизнь во множественных вселенных возникает не случайным образом: больше «потомков» в ходе отбора имеют те вселенные, параметры которых приводят к возникновению большего числа черных дыр, и эти же параметры благоприятствуют возможности зарождения жизни.

Однако последнее допущение представляется не совсем достоверным. С этой позиции оптимальным для «размножения вселенных» было бы возникновение максимального количества черных дыр за минимальное время. Этому соответствовало бы раннее образование большого количества звезд первого поколения, поглощающих практически весь водород и быстро эволюционирующих в течение нескольких десятков миллионов лет до стадии гравитационного коллапса. В такой вселенной было бы крайне мало «внезвездного» вещества, было бы ничтожно малое количество металлов и крайне высокий уровень радиации. Образование каких-то сложных молекулярных структур, не говоря о биологических объектах, было бы маловероятно, а ее эволюция завершилась бы очень быстро. Современная Вселенная при этом представляется редкой аномалией.

В то же время выше была рассмотрена технология перемещения звезд, включая управляемый коллапс звездных скоплений с образованием сверхмассивных черных дыр.

Задача создания искусственных вселенных с оптимальными для развития разумной жизни и возникновения КЦ характеристиками может быть решена на четвертом рукаве Универсальной эволюции путем управляемого гравитационного коллапса искусственного звездного скопления, сформированного с помощью двигателей Шкадова или аналогов, с достаточно точным обеспечением необходимого распределения массы звезд (и, возможно, электрического заряда). Для этой цели может быть выбрана заведомо необитаемая галактика или звездное скопление. Монтаж «звездных двигателей» и управление ими осуществляются функциональными машинными «квазицивилизациями» на базе организованных групп самовоспроизводящихся беспилотных аппаратов с вариантами солнечных парусов (в общем случае могут создаваться более сложные машинные экосистемы, включающие, например, аналоги детритных организмов – спе-

циализированные аппараты для переработки неисправных конструкций). Создание первых прототипов подобных космических аппаратов для последующей саморепликации возможно еще на третьем рукаве Универсальной эволюции.

Таким образом, реализуется автокаталитический процесс самовоспроизводства оптимальных вселенных в рамках «расширенного космологического естественного отбора». Организовав такой процесс, КЦ также гарантируют неограниченное расширение собственной «экологической ниши» в Мультиверсе и неисчерпаемость собственных источников познания.

Это соответствует началу нового и последнего, «горизонтального» пятого рукава Универсальной эволюции, представляющего собой единый процесс Мультиверса, протекающий с различной скоростью в различных вселенных. В ходе этого процесса КЦ осуществляют расширенное воспроизводство и неограниченное потребление значимой информации при примерно постоянном технологическом уровне.

Следует отметить, что реализация подобных конструкций космологической инженерии, вопреки первому впечатлению, не требует сверхвысокого энергетического и технологического уровня. В случае, если время их создания не является определяющим, они вполне могут быть реализованы путем создания небольшой группы самовоспроизводящихся высокоресурсных космических аппаратов с двигательными установками типа солнечного паруса, для последующего строительства структур типа двигателей Шкадова из местных ресурсов. То есть задачи, формально относящиеся к типу 6 по расширенной шкале Кардашёва, могут быть успешно реализованы КЦ уровня от типа 1 до типа 2+.

Таким образом, возможно решение проблемы «конца науки» – самые масштабные космологические проекты, включая массовое создание новых вселенных и перемещение между ними, требуют ограниченного числа технологий в областях «искусственного интеллекта», солнечной энергетики, добычи сырьевых ресурсов в космосе и бестопливных двигательных установок космических аппаратов типа солнечных парусов, по большинству из которых уже в настоящее время существует значительный задел. В этом заключается принципиальное отличие гипотетических поздних рукавов Универсальной эволюции от заключительного этапа второго рукава перед ожидаемым «концом науки», когда хотя бы сохранение уровня получения новой значимой информации требует значительно опережающего развития технологического уровня и возрастания объема используемых ресурсов.

В заключение следует отметить, что признаки тех или иных описанных процессов могут быть выделены в настоящее время в ходе текущих астрономических наблюдений.

Так, реализация проектов оптимизации среды для возникновения разумной жизни типа «Катализа» может привести к наблюдаемой высокой концентрации сложных органических веществ в протопланетных дисках молодых стабильных звезд, что может быть зафиксировано современными методами на расстоянии более 150 световых лет (Favre *et al.* 2018). Использование устройств типа двигателя Шкадова или его аналогов для перемещения звезд может приводить к образованию газовых хвостов, аналогичных кометным хвостам, за счет асимметрии светового давления (Новосельцев 2014; Novoseltsev 2017b). В сочетании с особенностями излучения таких звезд и их аномально высокой скоростью движения эти признаки могут рассматриваться как потенциальный маркер астроинженерной деятельности КЦ. Организация связи и межзвездных перелетов в искусственных звездных скоплениях, а также форсирование двигателей Шкадова с помощью мощных источников излучения типа лазеров может быть выявлено в проектах по детектированию источников когерентного излучения в других галактиках (Lubin 2016). В связи со спецификой односторонней передачи данных «маяков» на очень удаленные быстро движущиеся объекты через гравитационную линзу искусственного коллапсора их сигналы могут быть выделены среди так называемых быстрых радиовсплесков (Fast Radio Bursts, FRB). Если проходимость керровских черных дыр хотя бы в некоторых случаях будет подтверждена, в наблюдаемой Вселенной, начиная с самых ранних стадий ее достаточно холодного существования, уже могут находиться искусственные коллапсоры или иные астроинженерные сооружения КЦ из других вселенных Мультиверса с аналогичными свойствами. В этом случае также могут быть зафиксированы сигналы их «маяков».

Из этого также следует важный вывод для действующих и будущих программ SETI. В различных вселенных Мультиверса время может идти с разной скоростью и в разных направлениях. Отдаленное прошлое наблюдаемой Вселенной может соответствовать отдаленному будущему других вселенных Мультиверса, эволюция которых достигла начала пятого рукава. Поэтому любые аномальные сигналы, в том числе подобные FRB, из отдаленных областей Вселенной, наблюдаемая картина которых соответствует ее далекому космологическому прошлому, не должны игнорироваться.

В любом случае, обнаружение любых признаков, подобных упомянутым, может являться дополнительным основанием для оптимистических прогнозов перспектив Универсальной эволюции в ближайшие несколько миллиардов лет и места современной цивилизации в ней.

Библиография

- Князева Е. Н., Курдюмов. С. П. 2002.** *Основание синергетики. Режимы с обострением, самоорганизация, темпомыры.* СПб.: Алетейя.
- Новосельцев Д. 2014.** *К вопросу возможной модификации двигателя Шкадова и ее перспективах для решения некоторых задач SETI.* URL: <http://Infml.sai.msu.ru/SETI/koi/articles/Shkadov.pdf>.
- Новосельцев Д. А. 2018.** Проект «Катализ»: о возможности целенаправленного распространения разумной жизни в Галактике. *Эволюция. Паттерны эволюции* / Отв. ред. Л. Е. Гринин, А. В. Коротаев, с. 32–42. Волгоград: Учитель.
- Панов А. Д. 2009а.** Инварианты Универсальной эволюции и эволюция в Мультиверсе. *Труды Объединенного научного центра проблем космического мышления.* М.: Международный центр Рерихов.
- Панов А. Д. 2009б.** Наука как явление эволюции. *Эволюция: космическая, биологическая, социальная* / Ред. Л. Е. Гринин, А. В. Марков, А. В. Коротаев, с. 99–127. М.: ЛИБРОКОМ.
- Панов. А. Д. 2013.** *Универсальная эволюция и проблема поиска внеземного разума (SETI).* М.: Изд-во ЛКИ.
- Anchordoqui L. A., Weber S. M., Soriano J. F. 2017.** Is There Anybody out There? 35th International Cosmic Ray Conference – ICRC217 – 10–20 July. Busan: Bexco.
- Barnes L. A. et al. 2018.** Galaxy Formation Efficiency and the Multiverse Explanation of the Cosmological Constant with EAGLE Simulations. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 477(3): 3727–3743. DOI: <https://doi.org/10.1093/mnras/sty846>.
- Dokuchaev V. I. 2011.** Is There Life Inside Black Holes? *Classical and Quantum Gravity.* Vol. 28. Number 23.
- Dokuchaev V. I. 2012.** *Life Inside Black Holes.* Institute for Nuclear Research of the Russian Academy of Sciences.
- Favre C. et al. 2018.** First Detection of the Simplest Organic Acid in a Protoplanetary Disk. *The Astrophysical Journal Letters.* Vol. 862. No. 1.
- Gros C. 2016.** Developing Ecospheres on Transiently Habitable Planets: The Genesis Project. *Astrophysics and Space Science* 361: 324.
- Hanson R. 1998.** The Great Filter – Are We Almost Past It? September 15. URL: <http://mason.gmu.edu/~rhanson/greatfilter.html>.
- Hawking S. W., Hertog T. 2018.** A Smooth Exit from Eternal Inflation? *Journal of High Energy Physics* 4: 147.
- Hooper D. 2018.** Life Versus Dark Energy: How An Advanced Civilization Could Resist the Accelerating Expansion of the Universe. URL: <https://arxiv.org/abs/1806.05203>.
- Lubin Ph. 2016.** The Search for Directed Intelligence. *REACH Journal.*

- Novoseltsev D. 2014.** Small Unmanned Spacecraft with Electric Solar Sail. *Space Colonization Journal* 20: 3–7.
- Novoseltsev D. 2017a.** Engineering New Worlds: Creating the Future. *Principium* 17 (May): 30–35.
- Novoseltsev D. 2017b.** Engineering New Worlds: Creating the Future – Part 3. *Principium* 18 (August): 31–41.
- Novoseltsev D. 2017c.** Engineering New Worlds: Creating the Future – Parts 4 and 5. *Principium* 19 (November): 27–35.
- Novoseltsev D. 2018.** Engineering New Worlds: Goals, Motives and Results. *Principium* 23 (November): 38–42.
- Shkadov L. M. 1987.** Possibility of Controlling Solar System Motion in the Galaxy. *38th Congress of the International Astronautical Federation. October 10–17, Brighton, UK, paper IAA-87-613.*
- Salcido J., Bower R. G., Barnes L. A., Lewis G. F., Elahi P. J., Theuns T., Schaller M., Crain R. A., Schaye J. 2018.** The Impact of Dark Energy on Galaxy Formation. What does the Future of our Universe Hold? *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 477(3): 3744–3759. DOI: <https://doi.org/10.1093/mnras/sty879>.
- Smolin L. 2006.** The Status of Cosmological Natural Selection. *Perimeter Institute for Theoretical Physics* February 2.