



А.С.Дмитриев

**Межзвездные перелеты: дорогу
осилит идущий**

Рекомендуемая форма библиографической ссылки

Дмитриев А.С. Межзвездные перелеты: дорогу осилит идущий // Проектирование будущего. Проблемы цифровой реальности: труды 5-й Международной конференции (3-4 февраля 2022 г., Москва). — М.: ИПМ им. М.В.Келдыша, 2022. — С. 282-290. — <https://keldysh.ru/future/2022/26.pdf> <https://doi.org/10.20948/future-2022-26>

Размещено также видео выступления

Межзвездные перелеты: дорогу осилит идущий

А.С. Дмитриев

Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН

Аннотация. Обсуждаются, выдвинутая несколько лет назад идея создания и посылки флота парусных нанокораблей к звездной системе Альфа Центавра с помощью гигантской, но вполне реалистичной, решетки лазерных излучателей, используемой в качестве внешнего источника создания тяги, и формы организации подобных проектов в России.

Ключевые слова: межзвездные полеты, Альфа Центавра, нанокорабль

Interstellar flights: The road will be mastered by the walking

A.S. Dmitriev

RAS Kotelnikov Institute of Radioengineering and Electronics

Abstract. Put forward a few years ago, the idea of creating and sending a fleet of sailing nanoships to the Alpha Centauri star system using a giant, but quite realistic array of laser emitters used as an external source of thrust, and forms of organizing such projects in Russia are being discussed.

Keywords: interstellar flights, Alpha Centauri, nanocraft

Введение

Отечественный читатель подробно познакомился с идеей межзвездных полетов в 1957 г., когда журнал «Техника – молодежи» начал публикацию романа И.А. Ефремова «Гуманность Андромеды» [1]. До запуска первого искусственного спутника Земли оставалось еще полгода, но идея освоения космоса уже витала в воздухе. И разница между полетом в космос и полетом к звездам для большинства читателей не казалась столь масштабной, как это есть на самом деле: и то, и другое, было еще фантастикой.



Рис. 1. Начало публикации романа И.А. Ефремова «Туманность Андромеды» в журнале «Техника – молодежи», 1957 г.

Ранние представления о реализации идеи межзвездных перелетов

Прошло всего несколько лет и задача полета к звездам стала широко обсуждаться в научно-технической литературе.

В качестве примеров приведем книги [2,3], посвященные рассмотрению принципов движения в космическом пространстве со скоростями, намного превышающими первую, вторую и третью космические скорости. Ведь для того, чтобы долететь до ближайших звезд, нужны скорости сопоставимые со скоростью света, т.е. десятки тысяч километров в секунду и больше, что превосходит первые три космические скорости, по меньшей мере, на три порядка. Анализ известных источников энергии и рабочих тел быстро показал, что все возможные источники, знакомые человечеству на тот момент, и даже гипотетические схемы, представляются, если и потенциально достижимыми, то только в очень удаленной и туманной перспективе. Кроме того, не удалось выявить этапы, достижение которых существенно приближало бы хотя бы технологически к решению целевой задачи.

В последние несколько десятилетий надежды на решение грандиозной задачи полета к звездам стали связывать с использованием для ускорения космических аппаратов внешних источников энергии, прежде всего, формирующих направленное электромагнитное излучение диапазона видимых и более коротких длин волн. Эта идея возникла по историческим масштабам времени практически сразу после изобретения лазера [4]. Однако было показано, что и она сталкивается в случае полета полномасштабных межзвездных кораблей (а это объекты массой, как минимум, сотни и тысячи тонн) с невообразимыми для современного состояния науки и техники масштабами требуемых энергетических затрат и заоблачного уровня технологий.

Постепенно пришло понимание, что задача межзвездных перелетов требует какого-то конструктивного переформулирования. И мысль человеческая постепенно стала сдвигаться в этом направлении.

Исходная идея

Breakthrough Starshot (Прорыв: Звездный выстрел) – это исследовательская и инженерная программа стоимостью \$100 млн, целью которой является демонстрация концепции новой технологии, позволяющей осуществить полет сверхлегкого беспилотного космического аппарата со скоростью 20% от скорости света и заложить основу для полета к Альфе Центавра в течение одного поколения.

В рамках инициативы Breakthrough Initiatives, Starshot был запущен Юрием Мильнером и Стивеном Хокингом в 2016 г. и финансируется фондом, основанным Юрием и Джулией Мильнер [5].

Председателем Консультативного комитета проекта Starshot по предложению Мильнера стал профессор Лёб, декан факультета астрономии Гарвардского университета. За некоторое время до формального старта программы, в середине 2015 г., молодые сотрудники Лёба, начали сортировать варианты межзвездных перелетов на невозможное, невероятное и выполнимое. В декабре того же года они получили статью Филипа Любина, физика из Калифорнийского университета в Санта Барбара, названную «Дорожная карта к межзвездному полету» [6]. На основе своих предшествующих исследований по исследованию возможностей создания систем защиты Земли от метеоритной опасности в рамках проекта DE-STAR, профинансированного DARPA, Любин выбрал двигательную установку с лазерной фазированной антенной решеткой, то есть большим количеством маленьких лазеров, объединенных вместе так, чтобы их свет когерентно образовывал единый луч. Этот лазерный луч толкает несущий парус, чип, который должен будет двигаться с хорошей долей световой скорости, чтобы достичь другой звезды за пару десятилетий (подобная идея была опубликована в 1976 г. физиком и писателем-фантастом Робертом Форвардом; который назвал эту схему Starwisp [7]). Хотя технология все еще была больше научной фантастикой, чем фактом, «я в основном передал Starshot дорожную карту», – рассказывал Любин, согласившийся присоединиться к проекту.

Концепция программы

Программа Breakthrough Starshot воплощает подход Кремниевой долины к космическим путешествиям, использующий экспоненциальный прогресс в ключевых областях технологий с начала XXI в.

Система доставки включает две составляющие: нанокрафты и систему светового луча.

Нанокрафт – это роботизированный космический аппарат, состоящий из двух основных частей: StarChip (звездный чип) и Lightsail (световой парус).

StarChip. Закон Мура позволил резко уменьшить размер микроэлектронных компонентов. Это дает возможность создать пластину граммового масштаба, несущую камеры, фотонные двигатели, источник питания, навигационное и коммуникационное оборудование, и составить полностью функциональный космический зонд.

Lightsail. Достижения в области нанотехнологий приводят к созданию все более тонких и легких метаматериалов, обещающих сделать возможным изготовление парусов метрового масштаба, толщиной не более нескольких сотен атомов и массой в граммы.

Световой луч. Рост мощности и снижение стоимости лазеров в соответствии с законом Мура привели к значительному прогрессу в технологии излучения света. Между тем, фазированные решетки лазеров (формирующие «световые лучи») потенциально могут быть увеличены до уровня 100 ГВт.

Проект Breakthrough Starshot стремится довести эффект масштаба до астрономических размеров.

Корабли StarChip могут производиться серийно по цене iPhone и отправляться на миссии в большом количестве для обеспечения избыточности и покрытия.

Техническая реализация системы

Ключ к системе заключается в способности создать фотонный ускоритель. Для релятивистского полета ($> 0,1c$) также необходима разработка зондов сверхмалой массы. Фотонный ускоритель представляет собой лазерную фазированную решетку, которая устраняет необходимость в разработке одного очень большого лазера и заменяет его большим количеством небольших (кВт-класса) лазерных усилителей, которые, по своей сути, имеют фазовую синхронизацию, поскольку они питаются от обычного затравочного лазера. Этот подход также устраняет обычные оптические системы и заменяет их фазированной решеткой из небольших оптических элементов, которые представляют собой тонкопленочные оптические элементы. Эта лазерная матрица была описана в статьях [6,7] и называется DE-STAR (Directed Energy System for Targeting of Asteroids and ExploRation, Система направленной энергии для наведения на астероиды и исследования). Рассматриваются системы DE-STAR квадратной формы и разных размеров DE-STAR – 1, 2, 3 и 4, со стороной квадрата, соответственно, 10, 100, 1 000 и 10 000 м.

Полномасштабная DE-STAR 4 (50-70 ГВт) будет разгонять космический корабль массой несколько грамм с лазерным парусом масштаба 1 м примерно до 26% скорости света примерно за 10 мин., что позволит до-

стичь Марса (1 а.е.) за 30 мин., пройти 1 000 а.е. за 12 суток и достичь Альфы Центавра примерно за 20 лет. Тот же драйвер направленной энергии (DE-STAR 4) может также разогнать полезную нагрузку 100 кг до примерно 1% от скорости света и полезную нагрузку в 10 т до скорости более 1000 км/с. Систему можно масштабировать до любого уровня мощности и размера массива, где требуется компромисс между желаемой массой и скоростью космического корабля. Дорожная карта может начаться с намного более скромных систем, включая испытания на Земле, на спутниках масштаба CubeSat, возможно, на МКС и на всё более сложных системах. Полезное тестирование может начаться на уровне субкиловатт, поскольку система в основном «самоподобна», и все устройства являются масштабированными версиями других. Нет никакого внутреннего барьера для скорости, кроме скорости света, и, таким образом, в отличие от других технологий, здесь нет «тупика». Эта технология масштабируется в огромном диапазоне масс. «Лазерный фотонный драйвер» может приводить в движение практически любую массовую систему с конечной скоростью, зависящей только от масштаба построенного драйвера. Поскольку система является модульной и масштабируемой, начальные затраты очень скромны, поэтому полезны даже небольшие системы.

Состояние разработок компонент

Прогресс в области нанокraftов. В качестве примера нанокraftа идеологи проекта приводят пример наноспутника K1lSat-2, который имеет размер 35×35×5 мм и весит менее 5 г. Это полнофункциональный космический объект, способный собирать информацию об окружающем его космическом пространстве с помощью нескольких, размещенных на нем датчиков и передавать эту информацию на землю на расстояния до 500 км со скоростью до 100 кбит/сек [10].

Световые паруса. Эксперимент «Знамя 2». 4 февраля 1993 г. космический корабль «Прогресс М-15» отстыковался от орбитальной космической станции «Мир» и, отойдя на расстояние 160 м, развернул солнечный парус. Парус представлял собой круг диаметром 20 м, состоящий из отдельных секторов. Он был выполнен из металлизированной полимерной пленки толщиной 5 мкм.

В ходе программы «Знамя» были выполнены условия международного конкурса «Колумб 500», где победителем должен был стать тот, кто первым развернет в космосе солнечный парус. Однако американская сторона это достижение проигнорировала.

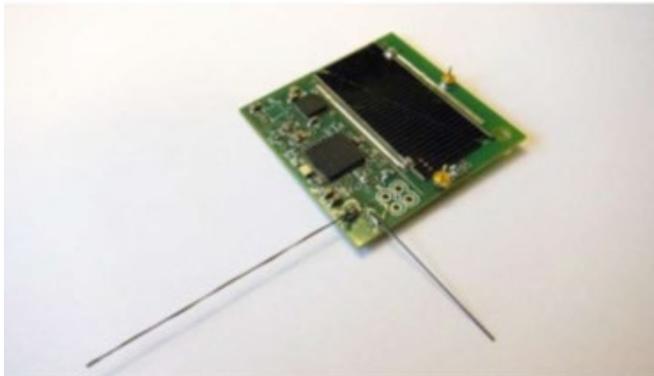


Рис. 2. Наноспутник (нанокрафт), разработанный в Корнельском университете [10].



Рис. 3. Космический аппарат «Прогресс М-15» с развернутым солнечным парусом.

Лазерные излучатели. В последние годы рост мощности лазеров и падение их стоимости подчиняется закону Мура. Это позволит в недалеком будущем создать специальные фазированные массивы лазеров («light beamer»), мощностью до 100 ГВт.

В целом проект Breakthrough Starshot потребует:

- постройки в высокогорных районах километрового массива лазерных излучателей;
- генерации и хранения нескольких ГВт·ч энергии для каждого запуска;
- запуска «материнского корабля», который выведет на высокую орбиту тысячи нанокрафтов;
- использования возможностей адаптивной оптики в реальном времени для компенсации атмосферных явлений;
- фокусировки луча света на световом парусе в течение нескольких минут для разгона нанокрафтов до необходимой скорости (20% от скорости света);
- учета влияния столкновений с межзвездной пылью в пути;
- захвата изображения планет, передачи другой научной информации на Землю с помощью бортовой лазерной коммуникационной системы;
- использования лазерных излучателей для получения данных с нанокрафтов спустя более 4 лет после их записи у изучаемого объекта.

Некоторые из перечисленных задач представляют собой серьезные инженерные вызовы, с которыми столкнется команда исполнителей проекта. Предлагаемая лазерная двигательная система по своим масштабам значительно превосходит все работающие сегодня аналоги. Сама суть проекта предполагает глобальную кооперацию и взаимодействие.

Состояние разработок лазеров. В начале 1990-х гг. коллектив сотрудников российской компании НТО «ИРЭ-Полюс» разработал первые прототипы волоконных усилителей света с диодной накачкой, по мощности превышающие зарубежные аналоги. Позже основатель этой компании

В.П. Гапонцев создал международную корпорацию **IPG Photonics**, которая в настоящее время контролирует 80% мирового рынка волоконных лазеров большой мощности. Эти лазеры можно рассматривать в качестве достаточно продвинутых прототипов для массива излучателей системы разгона нанокрафтов.

Подробно проблема создания фазированных решеток лазеров требуемых масштабов рассмотрена в [11].

Манифест «Эврика»

Чтобы активировать концентрацию усилий, связанных с проектом StarShot, Ю. Мильнер подготовил и опубликовал воззвание, которое назвал «Манифестом ЭВРИКА» [12].

В этом документе он заявляет, что наша цивилизация нуждается в миссии. Эта миссия, по его мнению, заключается в исследовании и познании нашей Вселенной. Миссия нужна чтобы обеспечить наше выживание, резко улучшить нашу жизнь и построить галактическую цивилизацию. Далее Мильнер отмечает важность и значение настоящего момента и значение направленности искусственного интеллекта для миссии. Основными способами продвижения миссии он считает ускорение Научной революции и зарождение Нового Просвещения. Для реализации этих планов нужно:

- инвестировать ресурсы в фундаментальные науки и космонавтику;
- позволить искусственному интеллекту способствовать научному прогрессу;
- прославлять ученых как героев;
- ориентировать образование на всеобщую историю и использовать силу искусства, чтобы объяснить ее.

Россия не может себе позволить быть второй

При всем уважении к Илону Маску, его идея, связанная с колонизацией Марса, не греет мне душу. Она грандиозна, затратна и, наверное, может стать важной вехой при взаимодействии человечества с космосом. Однако идеологически эта идея недалеко ушла от классических воззрений на космические полеты внутри Солнечной системы, которым уже больше века. Она постоянно обсуждается в научной и популярной литературе и стала слишком обыденной, чтобы возбудить эмоции землян до уровня осознания некоторой миссии человечества. Кроме того, даже такие грандиозные и дорогие программы как марсианский проект Маска, с научной точки зрения дадут только точечное представление о Солнечной системе в целом. А для ее тотального исследования требуются совсем другие методы.

Проекты типа «Starshot» с этой точки зрения выглядят как яркие вспышки надежды, связанной с возможностью в обозримом будущем прорваться в межзвездное пространство и достичь ближайших звезд в итоге

этого прорыва. Появляется возможность создать технологии и технические средства, позволяющие изучать Солнечную систему на всю глубину и существенно менее затратно, чем с помощью средств классической космонавтики, к тому же с значительно большими скоростями исследования.

Важно отметить, что проекты такого типа, находящиеся на начальном этапе, требуют не гигантских материальных и финансовых затрат, а серьезной концентрации интеллектуальных усилий научно-технического и философско-идеологического сообщества. Относительно невысокие требования на первых этапах объемы средств не дают существенного преимущества при реализации такого проекта сверхбогатым экономикам, что позволяет участвовать в их реализации даже небогатым странам. Значительно более важно для успеха, по меньшей мере на начальных стадиях, являются наличие элементов космизма в идеологии общества, исторических успехов в деле освоения космического пространства, желания и воли постичь космос. С этим у России и Союзного государства в целом всё в порядке.

Вопрос в том, как организовать такой проект. Наверное, форма организации должна принципиально отличаться от тех, которые использовались в СССР и РФ при реализации космических программ. Навскидку видно, что здесь не требуется максимальная концентрация усилий государства, как это было при реализации космической программы в СССР, или просто выделения каких-то денег, в надежде, что рыночные механизмы сделают свое дело. Мало чем может помочь и американский опыт при постановке и реализации космических программ: у нас просто другая технико-экономическая среда, которая определяющим образом формирует путь развития того или иного технологического направления.

Нужно думать, как нам это организовать. При любом варианте организации на старте процесса и на его начальной стадии нужно иметь общественную площадку, на которой можно было бы организовать периодический обмен идеями и результатами в области межзвездных коммуникаций, как между индивидуальными лицами, так и между заинтересованными научно-техническими группами.

В истории нашей страны есть, по меньшей мере, два примера общественных объединений, которые при поддержке государства сыграли выдающуюся роль в развитии и освоении новейших для своего времени направлений техники. Это Комитет содействия воздушному флоту России, на средства которого в 1909 г. были заложены основы военно-воздушного флота, и Осоавиахим, заслуги которого в пропаганде, развитии и продвижении новейшей техники в Советском Союзе трудно переоценить.

Так что у нас имеется богатый опыт общественной самоорганизации для решения сложнейших научно-технических задач.

Осталось начать. Дорогу осилит идущий.

Литература

1. *Ефремов И.А.* Туманность Андромеды. – М.: Молодая гвардия, 1957.
2. *Бурдаков В.П., Данилов Ю.И.* Ракеты будущего. – М.: Атомиздат, 1980. – 155 с.
3. *Дмитриев А.С., Кошелев В.А.* Космические двигатели будущего. – М.: Знание. Серия. Космонавтика, Астрономия. 3/1982. – 64 с.
4. *Marx G.*, Interstellar vehicle propelled by terrestrial laser beam // *Nature*, 211, 22 (1966).
5. Breakthrough Initiatives, “Breakthrough Starshot,” 2020, <https://breakthroughinitiatives.org/initiative/3>. Y. Milner. Breakthrough Starshot.
6. *Lubin P.* A roadmap to interstellar flight // *JBIS* 69, 40-72 (2016).
7. *Hughes G., Lubin P. et al.* DE-STAR: Phased-array laser technology for planetary defense and other scientific purposes // [SPIEDigitalLibrary.org/conference-proceedings-of-spie](https://spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie).
8. *Forward R.* Roundtrip interstellar travel using laser-pushed lightsails // *Journal of Spacecraft and Rockets* 21, 187-195 (1984).
9. *Finkbeiner A.* Near-light-speed mission to Alpha Centauri. A billionaire-funded plan aims to send a probe to another star. But can it be done? // *Scientific American* 316(3), 30-37 (2017).
10. *Manchester Z., Peck M., Filo A.* KickSat: A crowd-funded mission to demonstrate the world's smallest spacecraft // August 2013. Conference: AIAA/USU Conference on Small Satellites. <https://www.researchgate.net/publication/307454621>
11. *Bandutunga C.P., Sibley P.G., Ireland M.J., Ward R.L.* Photonic solution to phase sensing and control for light-based interstellar propulsion // *Journal of the Optical Society of America B* 38(5), 1477-1486 (2021).
12. Milner Yu. Eureka manifesto: The Mission for our civilization. <https://yurimilnermanifesto.org>