

Нелинейная радиофизика межзвездных перелетов: разгон макрообъектов с помощью электромагнитного излучения

Посвящается 100-летию публикации
статьи Фридриха Артуровича Цандера
«Перелеты на другие планеты».

Цандер Ф.А. Техника и жизнь. 1924. Т. 13. С. 15-16.

А.С. Дмитриев

Институт радиотехники и электроники

им. В.А. Котельникова РАН

О роли визионеров в развитии науки, техники и общества:

- ***В.И. Ленин,***
- ***Г. Уэллс,***
- ***Ф.А. Цандер,***
- ***И.А. Ефремов.***

Как и почему
«Звездоплавание»
становится комплексной
задачей радиофизики

Туманность Андромеды

Иван Ефремов, 1957



Ранние представления о реализации идеи межзвездных перелетов

В.П. Бурдаков, Ю.И. Данилов. **Ракеты будущего.**

М.: Атомиздат, 1980, 155 с. Тираж **117000** экз.



- В популярной, доступной широкому кругу читателей форме рассказывается об основных физических проблемах и технических трудностях, с которыми сталкиваются ученые и инженеры при определении облика ракет далекого будущего.
- Основное внимание уделяется физическим принципам, лежащим в основе работы современных ракет, а также принципам, на база которых можно ожидать создания более эффективных ракет будущего.

А.С. Дмитриев, В.А. Кошелев.
Космические двигатели будущего.
М.: Знание. Серия. Космонавтика, Астрономия.
3/1982. 64 с. Тираж 26400 экз.



- Сделана попытка представить себе возможные пути развития космических двигательных систем завтрашнего дня. Рассматривается ряд традиционных и новых идей и проектов в области космических двигателей, их возможности и соответствие тем задачам, которые по сегодняшним представлениям станут наиболее актуальными в не очень отдаленной перспективе

Breakthrough Starshot

- Breakthrough Starshot (Прорыв: Звездный выстрел) - это исследовательская и инженерная программа стоимостью 100 миллионов долларов, 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 году и финансируется фондом, основанным Юрием и Джулией Милнер.

Концепция (1)

- **Breakthrough Starshot** воплощает подход Кремниевой долины к космическим путешествиям, используя экспоненциальный прогресс в ключевых областях технологий с начала 21 века.
- **Система доставки** включает две составляющие:

Нанокрафт и Система Светового луча

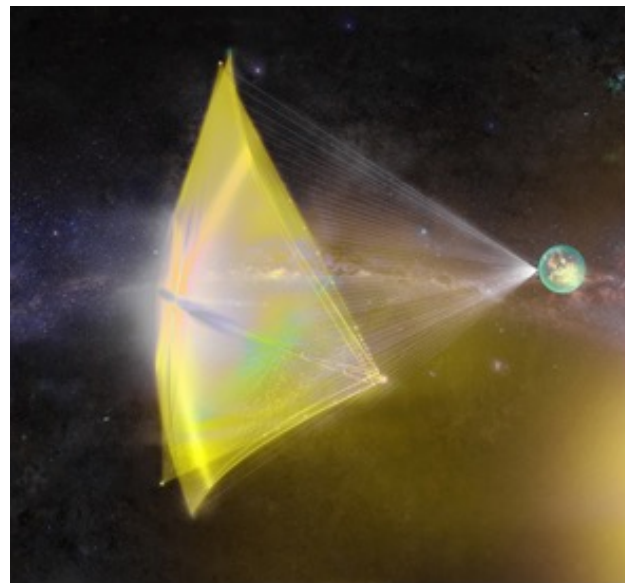
Концепция (2)

- **Нанокрафт** - это роботизированный космический аппарат, состоящий из двух основных частей:
- **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 граммах.

Концепция (3)

- **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 («световые лучи») потенциально могут быть увеличены до уровня 100 гигаватт.
- **Breakthrough Starshot** стремится довести эффект масштаба до астрономических масштабов.
- **StarChip** может производиться серийно по цене iPhone и отправляться на миссии в большом количестве для обеспечения избыточности и покрытия.
- **Световой луч** является модульным и масштабируемым.

Цель: Проксима Б



24 августа 2016 года, всего через четыре месяца после запуска Breakthrough Starshot, Европейская южная обсерватория объявила об открытии Проксимы b, первой известной экзопланеты в системе Альфа Центавра.

Эта планета в настоящее время рассматривается как основная цель возможной межзвездной миссии Breakthrough Starshot.

Техническая реализация системы (1)

- Ключ к системе заключается в способности создать фотонный ускоритель и разработки зондов сверхмалой массы.
- Фотонный ускоритель представляет собой лазерную фазированную решетку, состоящую из большого количества небольших (кВт класса) лазерных усилителей, которые по своей сути имеют фазовую синхронизацию, поскольку они питаются от обычного затравочного лазера.
- Эта лазерная матрица называется DE-STAR (Directed Energy System for Targeting of Asteroids and ExploRation).
- Рассматриваются системы DE-STAR квадратной формы и разных размеров DE-STAR – 1,2,3 и 4, со стороной квадрата, соответственно, 10, 100, 1000 и 10000 метров

Техническая реализация системы (2)

- 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 минут,
- что позволит достичь Марса (1 а.е.) за 30 минут, пройти 1000 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 10 000 кг 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.

Прогресс в области нанокрафтов

Sprite ChipSat

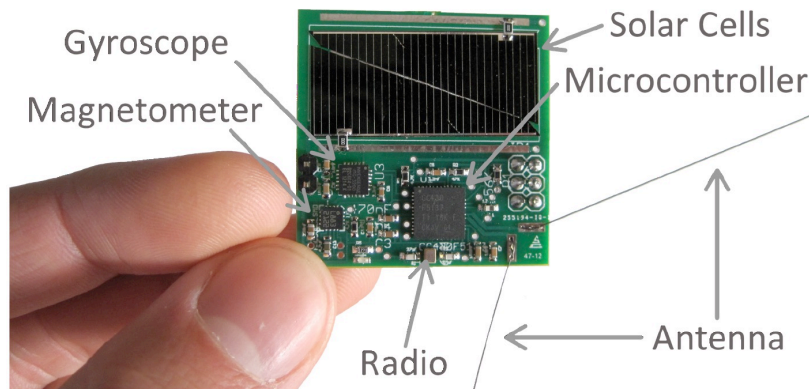
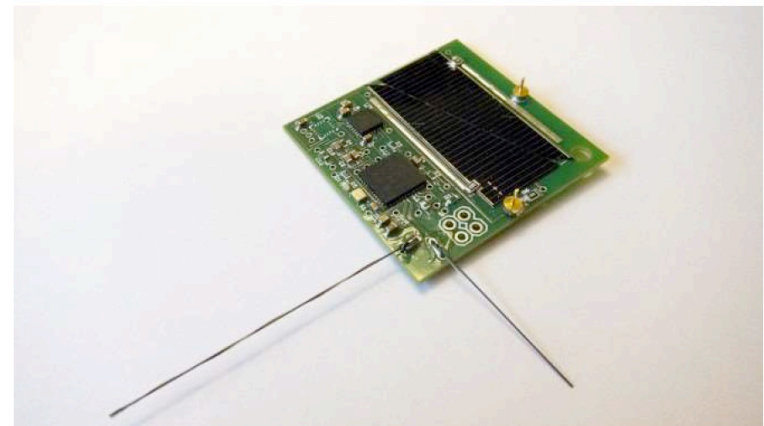


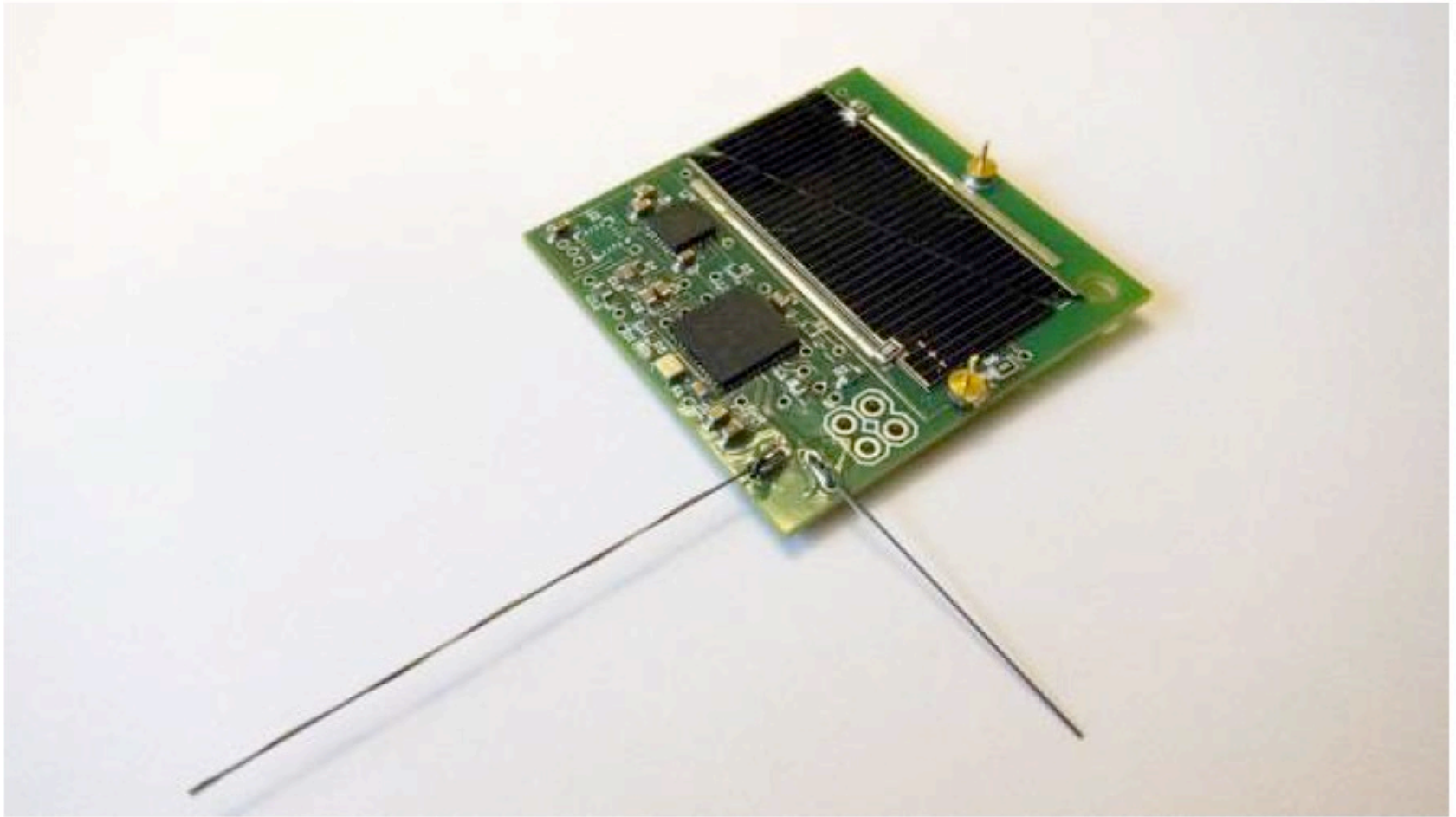
Figure 3: Sprite ChipSat

Спутник на чипе: KickSat-2 для CubeSat



Cornell University

An example of a Sprite ChipSat, a cracker-sized mini-satellite developed in the lab of Mason Peck, associate professor of mechanical and aerospace engineering.



Cornell University

An example of a Sprite ChipSat, a cracker-sized mini-satellite developed in the lab of Mason Peck, associate professor of mechanical and aerospace engineering.

Эксперимент «Знамя-2»

Зеркала в космосе



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

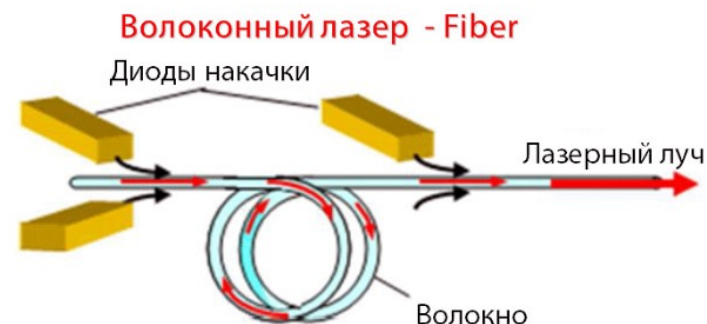
В.М. Мельников

В.А. Кошелев

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

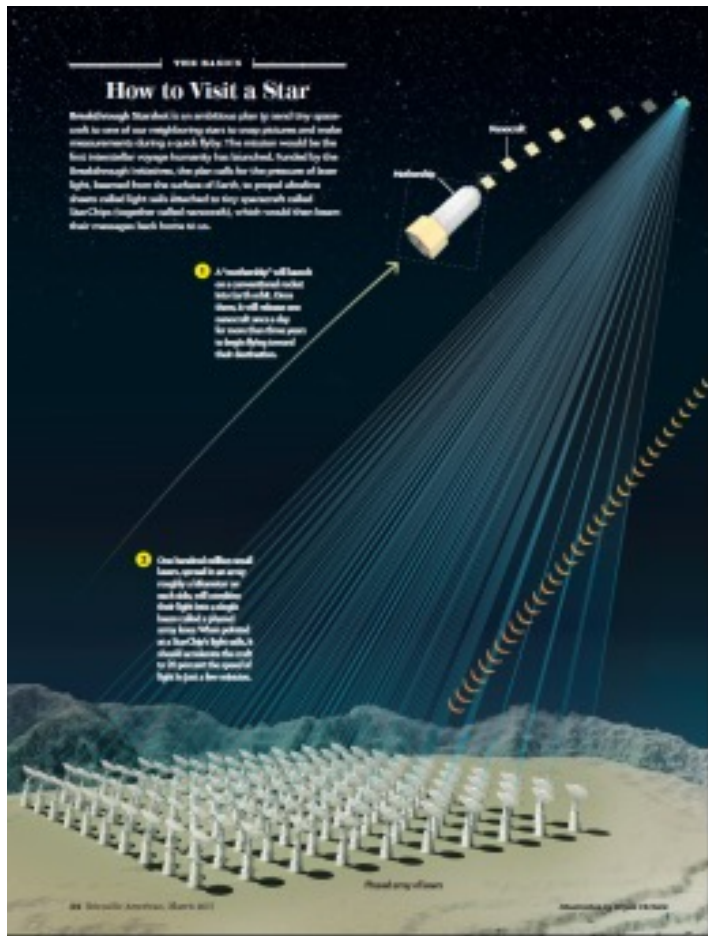
Состояние разработок лазеров

- В начале 1990 годов 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.



YLR-1070 Series
Ytterbium Rack-mount Fiber Lasers

Как посетить звезду?



1 A "mothership" will launch on a conventional rocket into Earth orbit. Once there, it will release one nanocraft once a day for more than three years to begin flying toward their destination.

2 One hundred million small lasers, spread in an array roughly a kilometer on each side, will combine their light into a single beam called a phased array laser. When pointed at a StarChip's light sails, it should accelerate the craft to 20 percent the speed of light in just a few minutes.

3 StarChips will communicate with Earth by sending signals back to the same laser array that accelerated them. Once at interstellar distances, the StarChips will have to aim with extraordinary precision for their pictures and data to reach Earth.

Комплекс радиопизических проблем

- построение километровых массивов сфазированных лазерных излучателей;
- использование возможностей адаптивной для компенсации атмосферных явлений;
- фокусировки луча света на световом парусе в течение нескольких минут для разгона нанокрафтов до необходимой скорости (20% от скорости света);
- получения изображений планет во время полета, передача научной информации на Землю с помощью бортовой лазерной коммуникационной системы;
- использование лазерных излучателей для получения данных с нанокрафтов более чем через четыре года спустя после их запуска.

Закрытые схемы запуска

- Концепция схемы разгона аппарата, предлагаемая в проекте «Звездный выстрел», рассматривает ускорение нанокrafta в свободном космическом пространстве и ее можно условно отнести к «открытым» схемам.
- Другими вариантами ускорения объектов могут быть схемы с замкнутым пространством, в котором производится разгон аппаратов - «закрытые» схемы запуска.
- Разгон в закрытом пространстве имеет то преимущество, что практически вся энергия внешнего источника передается разгоняемому телу — отсутствуют потери, связанные с рассеиванием кинетической энергии взрыва в окружающее пространство.
- **Примеры:**
- Система запуска КА в романе Жюль Верна «Из пушки на Луну». В качестве источника внешней энергии используется заряд пороха.
- Проект HARP (High Altitude Research Project - Проект высотных исследований), как альтернатива ракетным запускам.

Кольцевые схемы запуска

- Обе схемы «пушечного запуска» и Жюля Верна и в система НАРР осуществляют разгон объектов в **«прямолинейных стволах»**.
- Другим вариантом «закрытой» схемы запуска является ее реализация в качестве замкнутой в кольцо структуры.
- Такой вариант дает возможность существенно снизить требования к мощности источников энергии за счет использования относительно невысокого, но значительно более длительного по сравнению с временем «взрыва» в «прямолинейном стволе» ускорения.
- Ниже такой подход иллюстрируется на примере системы «космической пращи» с механическим разгоном.

Космическая праща



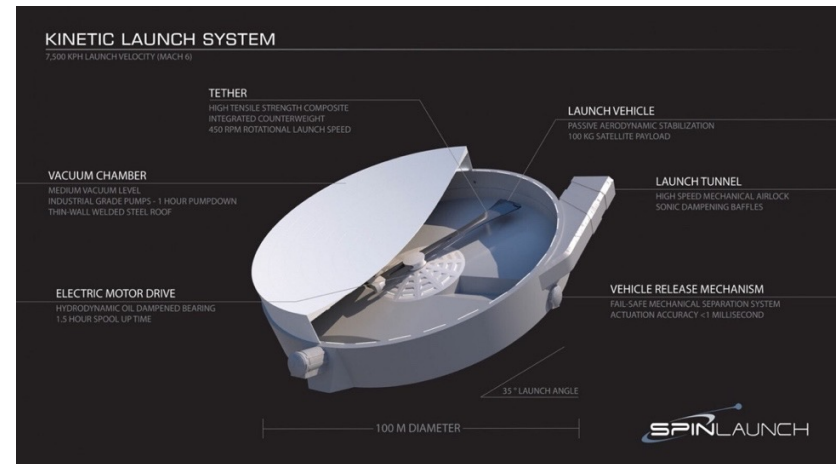
Идея космической пращи реализуется компанией [SpinLaunch](#)

Размер последнего прототипа 33 метра в диаметре.

В ходе испытания в октябре 2022 года компания запустила полезную нагрузку NASA, на высоту в 9 км.

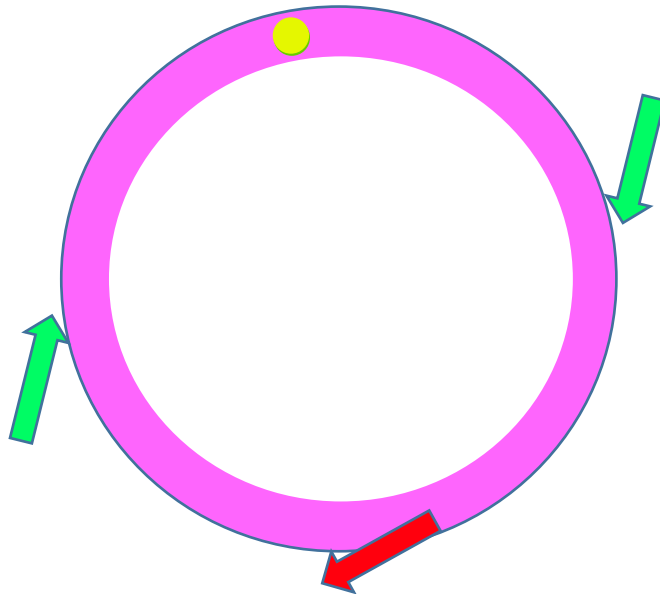
При запуске ускорение составило до 10 000 g, а сам «снаряд» разогнался до скорости в 8000 км/час.

Как оказалось, элементы полезной нагрузки вполне могут пережить столь экстремальный запуск. Это позволяет запускать небольшие грузы на орбиту



Кольцевая схема лазерного разгона макробиъектов

Разгонное кольцо



- Кольцевая схема лазерного разгона:
 - - разгоняемый объект;
 - ↓ - лазерное излучение;
 - ↙ - вывод объекта из разгонного кольца

Сравнение «Звездного выстрела» и «кольцевой» схем разгона

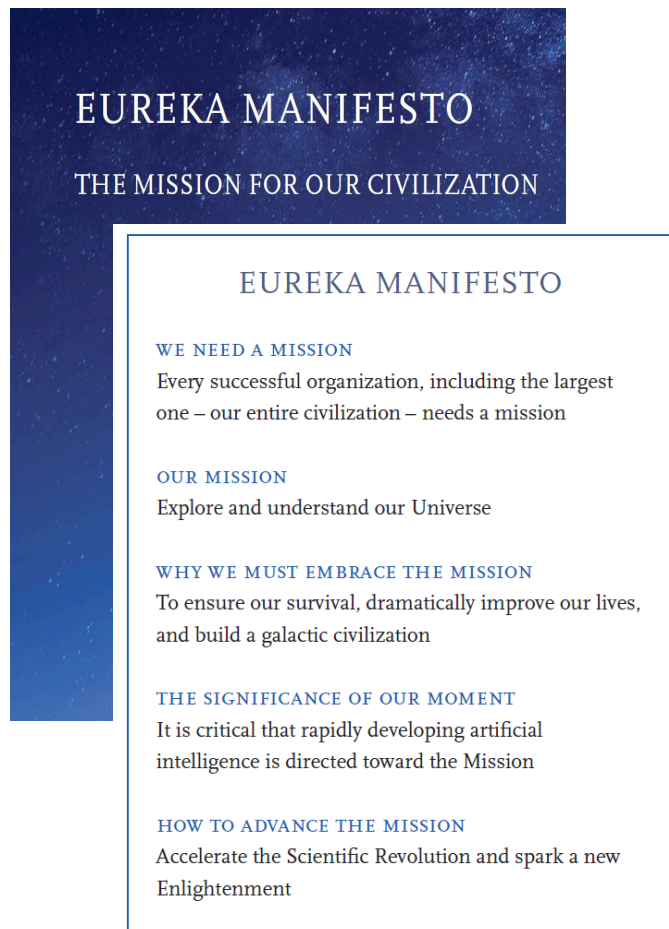
Требуемые мощности энергетических установок для разгона аппарата массой 4 г:

- ЗВ ~ 100 ГВт
- КС ~ 100 МВт

Время разгона до скорости 0,2 с:

- ЗВ $\sim 10^3$ сек
- КС $\sim 10^6$ сек (10 суток)

Манифест «Эврика» Ю.Мильнера



ЭВРИКА МАНИФЕСТ

- Нам нужна миссия

Каждая успешная организация, включая крупнейшую одна - вся наша цивилизация - нуждается в миссии

- Наша миссия

Исследовать и познать нашу Вселенную

- Почему мы должны принять миссию

Чтобы обеспечить наше выживание, резко улучшить нашу жизнь, и построить галактическую цивилизацию

- Значение нашего момента

Крайне важно, чтобы быстро развивающееся искусственный интеллект был направлен на Миссию

- Как продвигать миссию

Ускорить Научную Революцию и зажечь новое Просвещение

Манифест «Эврика» Ю. Мильнера



PLAN OF ACTION

- INVEST RESOURCES INTO FUNDAMENTAL SCIENCE AND SPACE EXPLORATION
- ENABLE ARTIFICIAL INTELLIGENCE TO DRIVE SCIENTIFIC PROGRESS
- CELEBRATE SCIENTISTS AS HEROES
- FOCUS EDUCATION ON THE UNIVERSAL STORY AND USE THE POWER OF ART TO TELL IT
- SPARK A NEW ENLIGHTENMENT IN WHICH EVERYONE CAN CONTRIBUTE TO A SHARED CULTURE OF KNOWLEDGE

ПЛАН ДЕЙСТВИЙ

- 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**
- ориентировать образование на всеобщую историю и использовать силу искажать новое просвещение в которое каждый может внести свой вклад в общую культуру знаний

Звездоплавание: Россия не может позволить себе быть второй

- Проекты типа «Starshot», как яркие вспышки надежды.
- Возможность в обозримом будущем прорваться в межзвездное пространство, и достичь ближайших звезд в итоге этого прорыва.
- Создать технологии и технические средства, позволяющие изучать солнечную систему на всю глубину и существенно менее затратно, чем с помощью средств классической космической техники
- Относительно невысокие требуемые на первых этапах объемы средств. Масштабируемость.
- Важность для успешной реализации наличия элементов космизма в идеологии общества, наличие исторических успехов в деле освоения космического пространства, желание и воля постичь КОСМОС.
- **С этим у России, все в порядке.**

Начальный этап организации проекта «Звездный флот» в России

- Общественная площадка для обмена идеями и результатами в области межзвездных коммуникаций
- Два примера общественных объединений, которые при поддержке государства, сыграли выдающуюся роль в развитии и освоении новейших для своего времени направлениях техники:
 - Комитет содействия воздушному флоту России, на средства которого в 1909 году были заложены основы военно-воздушного флота

Почетный знак «**Воздушный флот – Сила России**»



- Осоавиахим, заслуги которого в пропаганде, развитии и продвижении новейшей техники в Советском Союзе трудно переоценить.

Ёшкин кот!



Спасибо за Внимание!