

Варианты торможения зонда Icarus

Келвин Лонг

[Slowing Down The Icarus Probe & Induced Deceleration](#)

by Kelvin Long

25.02.2011

Перевод: И.Моисеев

07.03.2011

Согласно Техническому заданию (ТЗ) на Проект Icarus, (т.е., по нашим техническим требованиям) команда проекта обязана продемонстрировать варианты торможения зонда при достижении звезды-цели. В тексте ТЗ говорится, что необходимо предусмотреть некоторое замедление для увеличения времени исследований звездной системы. Отметим фразу *‘некоторое замедление’*. Точное значение не было определено, но 1%-ое замедление от маршевой скорости видимо следует считать недостаточным. Возможно, замедление на 10-20% соответствовало бы требованиям, это - вопрос для обсуждения. Идеальным было бы замедление большее 70-90% маршевой скорости, но этого очень трудно достигнуть. В настоящее время определены несколько направлений исследования вариантов торможения. Они включают:

1. торможение двигателем,
2. солнечный парус,
3. Magsail,
4. парус Медузы,
5. микроволновый парус,
6. орбитальная рогатка,
7. аэродинамическое торможение.

Здесь они кратко обсуждаются.

1. Торможение двигателем просто означает использование двигателя для торможения. Есть несколько проблем с решением такой задачи. Во-первых, это требует двигателя большей массы (или отдельного двигателя) для зонда, что уменьшает его исследовательские возможности. Во-вторых, количество топлива возрастает пропорционально квадрату массового отношения (при одинаковых профилях торможения и ускорения) и таким образом масса топлива увеличивается до неприемлемого значения. Вместо этого можно принять намного более медленную маршевую скорость и уменьшить требуемое количество топлива в целом, но требование максимального времени полета этого не позволяет.

Используем данные проекта Daedalus и принятую в этом проекте скорость истечения для оценки этого метода торможения.

Для Daedalus:

Масса топлива: 46 000 тонн (первая ступень), 4 000 тонн (вторая ступень):

Масса конструкции: 1 690 тонн (первая ступень), 980 тонн (вторая ступень),

(включая 450-тонный научный полезный груз).

За время работы первой ступени 2.05 лет на расстоянии 4 733 AU или 0.075 световых лет зонд достигнет маршевой скорости 21 900 км/с или 0.073с. Теперь не запускаем вторую ступень, а вместо этого зонд движется на этой скорости 41 год, пока не достигает расстояния в 3 световых года (приблизительно 3.1 световых года с учетом пути, пройденном за время работы первой ступени).

В это время включается двигатель второй ступени для обратного ускорения (торможения), которое занимает менее чем 2 года, и зонд тормозится приблизительно на 14 970 км/с или 0.05с. Получаем новую маршевую скорость 6 930 км/с или 0.023с. На этой скорости зонд достигнет ближайших звезд (4.3 световых года) приблизительно через 55 лет от конца фазы торможения. Это означает, что полное время полета к системе Альфы Центавра меньше одного столетия, то есть, находится в пределах ТЗ Проекта Icarus. Эта простая оценка показывает, что идея, по крайней мере, достойна рассмотрения.

2. Солнечный парус получает интенсивный поток фотонов от звезд-целей, и таким образом замедляет зонд. Однако для требуемой эффективности паруса он должен быть очень большим и быть развернут около звезд-целей. Кроме того, есть опасения по успеху разворачивания солнечного паруса после нескольких десятилетий хранения. В любом случае, оценочные вычисления, выполненные участником проекта Icarus Пэтом Галеа (Pat Galea), указывают, что парус не достаточно сильно замедляет зонд. В работе, представленной в Нью-Йорке в июле 2010, Пэт Галеа показал, что для 50-тонного зонда, двигающегося со скоростью 0.1с, для торможения до параболической скорости, площадь идеального паруса составит семьсот миллиардов квадратных метров, что эквивалентно круглому парусу диаметром почти 1 000 км. Естественный вопрос, какой размер паруса потребовался бы для намного более медленной маршевой скорости. Используя данные Пэта Галеа для зонда 50 тонн, получаем следующие значения диаметра паруса:

472 км (0.05с),

377 км (0.04с),

283 км (0.03с),

189 км (0.02с),

94 км (0.01с) и

47 км (0.005с).

Для паруса порядка 10 км в диаметре маршевая скорость составит примерно 0.001с.

Эти числа, по крайней мере, означают, что требуется дальнейший анализ возможности использования солнечного паруса для торможения.

3. MagSail использует магнитное поле, чтобы отклонить любые заряженные частицы, излученные звездой и использовать это отклонение, чтобы замедлить зонд. Идея MagSail в межзвездном контексте была впервые рассмотрена в 1988 физиками Даной Эндрюсом и Робертом Зубриным (Dana Andrews, Robert Zubrin) в статье “Магнитные Паруса и Межзвездное Путешествие”. ([Magnetic Sails and Interstellar Travel](#)) Участник проекта Icarus Адам Кроул (Adam Crowl) провел некоторые начальные вычисления, которые указывают, что такая технология более эффективна на более высоких скоростях. Эта работа продолжается и представляется обещающей.

4. Парус «Медуза» использует энергию ядерного взрыва микробомб, как в проекте Орион, осуществляемого в 1950-60-ых гг. Идея была впервые рассмотрена в ряде работ, опубликованных в 1999 и 2000 гг. физиком Джондэйлом Солемом (Johndale Solem). Вместо

того, чтобы использовать большой кормовой экран, который перехватывает только малую часть импульса от взрыва, в проекте «Медуза» предполагается использовать большой парус (spinnaker) перед зондом. Парус может быть выполнен с использованием нанотехнологий из полимерного материала, такого как ультравысокомолекулярный полиэтилен. Взрывы происходят перед аппаратом, но позади полусферического паруса, связанного с аппаратом длинными нитями. Утверждается, что для этой двигательной установки возможно достижение удельного импульса порядка 100 000 сек. Скорость будет пропорциональна энергии взрыва и числу используемых микробомб. Технология паруса «Медуза» могла бы использоваться для торможения зонда Icarus с использованием ядерных взрывов или термоядерного инерционного синтеза. Сейчас проводятся оценочные расчеты применимости этого метода коллективом проекта Icarus.

5. Микроволновый парус - альтернатива солнечному парусу или лазерному движителю. Здесь для передачи импульса используется микроволновый луч, посылаемый мазером. Этот метод был предложен физиком Робертом Форвардом (Robert Forward) в статье “Starwisp: Сверхлегкий Межзвездный Зонд” ([Starwisp: An Ultra-light Interstellar Probe](#)), опубликованной в 1985 г. Как и в случае солнечного или лазерного паруса, микроволновый парус предполагает неракетный принцип движения. Используется любой микроволновый луч, длина волны которого больше, чем ячейки электропроводящей сетки паруса. Теоретически в проекте Icarus можно было бы развернуть большое количество зондов Starwisp в целевой звездной системе и тормозиться, используя их отраженный микроволновый луч.

6. «Орбитальная рогатка» - это гравитационный маневр, выполнение нескольких пролетов звезды и больших планет целевой звездной системы для постепенного торможения. Это подобно тому, как исторические зонды Пионер 10 и 11 подняли скорость при пролете газовых гигантов для того, чтобы оставить Солнечную систему. Такой способ может быть использован в системе Центавра А и В, но это было бы труднее в других звездных системах на гиперболических скоростях зонда. Зонд мог бы сначала пролететь Проксиму Центавра и затем выполнить гравитационный маневр около звезд А и В Центавра. Проксима Центавра находится приблизительно в 13 000 AU от А и В Центавры.

7. Аэродинамическое торможение создается при входе в верхнюю атмосферу планеты или звезд. Для космического корабля движущегося со скоростью около 0.1с отнюдь не бесспорно, что замедление этим методом выполнимо из-за высокой температуры нагрева зонда при таком маневре. Однако какой-то анализ должен быть проведен. Участник Проекта Icarus Адам Кроул (Adam Crowl) недавно предположил, что зонд мог бы выполнить 'демонстрационный полет' Центавры Proxima с очень близким проходом и затем быть направлен к А и В Центавра.

Таким образом, определяются несколько возможностей для торможения, которые исследуются в рамках Проекта Icarus. Один из вариантов состоит в том, чтобы вместо одного способа торможения, используются элементы разных методов. При такой гибридной схеме торможения наряду с принятием сниженной маршевой скорости $\sim 0.08-0.09c$ (см. статью блога [“Daedalus & Icarus: Flyby versus Deceleration”](#)), вероятно можно применить торможение зонда и добиться времени пролета звездной системы, по крайней мере, за несколько месяцев. Один из таких сценариев предполагает, что зонд, замедленный при помощи MagSail, затем развернул бы парус «Медуза». При приближении к звездной системе можно было бы применить торможение двигателем до орбитальной скорости. Довольно-таки сложный набор маневров для автономного зонда в несколько световых годах от Земли. Но возможно то, что действительно необходимо для решения ‘проблемы торможения’, лежит в

сфере некоторого нестандартного мышления, в рамках концепции индуцированного торможения.

Индуцировать - означает вызвать или стимулировать возникновение. В контексте Проекта Icarus индуцированное торможение отсылает к искусственному созданию желательного явления, которое иначе не существует в достаточном количестве или величине. Starwisp - один пример этого. Фактически, микроволновые лучи не существуют естественно в достаточном количестве, вместо этого зонд разгоняется лучом квантового генератора. Другой пример индуцированного торможения - создание интенсивного потока частиц, который воздействует на зонд и передает импульс. Это, например, достигается при запуске снаряда в астероид или комету перед главным зондом, предполагая, что осколки будут тормозить зонд. Другой пример - взрыв большой энергии в плотном молекулярном облаке, вызывающий ударную волну, которая тормозит главный зонд. Можно запустить субзонд, оснащенный лазером или квантовым генератором, который будет передавать импульс парусу на главном зонде.

Другая ценная идея была предложена в 1976 Робертом Форвардом в его статье 'Программа для Межзвездного Исследования' ([*A Program for Interstellar Exploration*](#)). Форвард предложил использовать рентген от термоядерного двигателя для накачки бортовой лазерной системы, которая могла тогда использоваться для дополнительной тяги. В Проекте Icarus можно принять такую схему для торможения. Это было бы другим примером индуцированного торможения, где лазер мог или использоваться непосредственно в качестве фотонной ракеты или использоваться, чтобы передавать импульс на любые развернутые паруса на субзонде. Проектирование этой системы не было бы легкой проблемой, но, конечно, ее следует исследовать далее коллективом Проекта Icarus.

Вполне возможно, что торможение представляет самую большую техническую проблему для Проекта Icarus, следовательно, все идеи приветствуются, читатели также приглашаются для представления своих предложений по этой статье. Это было бы ценным вкладом в проект. В недавнем электронном письме автору известный физик Грег Мэтлофф (Greg Matloff) (консультант Проекта Icarus) написал, что, если бы Исследовательская группа Проекта Icarus смогла бы решить проблему торможения, это оправдало бы Проект Icarus само по себе.