

общественно-политический



научно-популярный журнал

# РОССИЙСКИЙ КОСМОС

№ 10(22)/2007

**ОН БЫЛ ПЕРВЫМ!**  
4 октября 1957 года человечество вступило в космическую эру

Успешная миссия «Фотона»

Горизонты «Кванта»



**Во многих работах по перспективам развития космонавтики выдвигается тезис о неограниченности возможностей человека в его усилиях по исследованию и освоению космоса. Так ли это — вопрос философский. Но в каждый конкретный момент времени наши возможности ограничены. Пределы возможностей заданы накопленными научными знаниями, фундаментальными константами и самое главное — представимым уровнем развития технологий передвижения в космическом пространстве.**

**П**редставимый уровень развития технологий — это уровень, который может быть достигнут известными методами за ограниченный период времени. Например, термоядерная энергетика, космические солнечные электростанции, симбиоз человека и ЭВМ — технологии, появление которых ученые сегодня считают неизбежным, а их создание — лишь дело времени. С другой стороны, например, фотонные (аннигиляционные) ракетные двигатели, хотя широко обсуждаются и не противоречат фундаментальным физическим законам, уже выходят за рамки предвидимого уровня. Здесь неизвестно, с чего начать, и никакие усилия, никакие ресурсы не помогут ускорить создание технологий такого рода.

Исходя из этого, можно сформулировать вопрос о способах передвижения в космическом пространстве, находящихся на границе наших возможностей. Общеизвестно, что традиционные ракетно-космические системы позволяют в приемлемые сроки достичь любой точки Солнечной системы. А вот технологии преодоления огромных пространств между Солнечной и

ближайшими планетными системами находятся на грани возможного. Где же эта грань находится сегодня?

### **ИНИЦИАТИВА НЕ НАКАЗУЕМА**

Проблема полетов на межзвездные расстояния ставилась со времени появления теоретической космонавтики. Все исследователи сходились на одном — это возможно с применением ядерной энергии. На этом рассмотрение вопроса заканчивалось. Первое относительно детальное исследование двигателей для межзвездных полетов выполнил немец Е. Зенгер в 1953 году. Тремя годами позже он опубликовал монографию «К механике фотонных ракет», посвященную в основном математике релятивистского полета. Тем не менее в книге рассматривались и технические вопросы, в частности были введены и рассмотрены понятия фотонно-ракетного и фотонно-реактивного приводов. Видимо, именно работы Зенгера и успехи первых лет космической эры привели к тому, что фотонные звездолеты плотно заселили страницы научно-популярной и фантастической литературы. В 1962 году в

России Р. Г. Перельманом была издана книга «Двигатели галактических кораблей», в которой были подведены итоги первого «фотонного» этапа исследований возможных двигательных установок для межзвездных перелетов.

Второй «термоядерный» этап был инициирован работами Британского Межпланетного Общества (BIS) по проекту межзвездного автоматического зонда (проект «Дедал») с использованием термоядерного ракетного двигателя. Именно в рамках этого проекта был сформулирован принцип опоры на предвидимые технологии, что заставило многих исследователей рассматривать конструкции межзвездных двигателей не с точки зрения теоретического совершенства, а ориентируясь на практическую возможность создать ту или иную машину в обозримом будущем. Работы по проекту «Дедал» дали импульс выдвиганию



### КЛАССИФИКАЦИЯ ТИПОВ ДВИГАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ МЕЖЗВЕЗДНЫХ ПЕРЕЛЕТОВ

К настоящему времени предложено достаточно большое количество различных типов двигателей для межзвездных перелетов. Естественным образом возникает необходимость их классификации. Ее упрощенный вариант представлен на рисунке 1.

По используемым физическим принципам все предлагаемые сегодня межзвездные двигатели можно распределить по пяти основным классам. К первому классу относятся привычные

нам ракетные двигатели, построенные по принципу «все свое ношу с собой», в которых и источник энергии, и рабочее тело находятся на борту аппарата. В двигателях второго класса помимо ракетных двигателей, необходимых для начального разгона, предлагается использовать в качестве источника топлива и/или рабочего тела вещество межзвездной среды. Проекты двигателей третьего класса предполагают «подпитку» извне — передачу на косми-

ческий аппарат энергии из Солнечной системы. Четвертый класс предполагает использование естественных силовых полей — гравитационного и электромагнитного. И, наконец, пятый класс двигателей для межзвездных перелетов основан на физических гипотезах. В рамки описанных пяти классов ДУ укладываются сотни различных проектов, проработанных с различной степенью детализации и разным уровнем реалистичности.

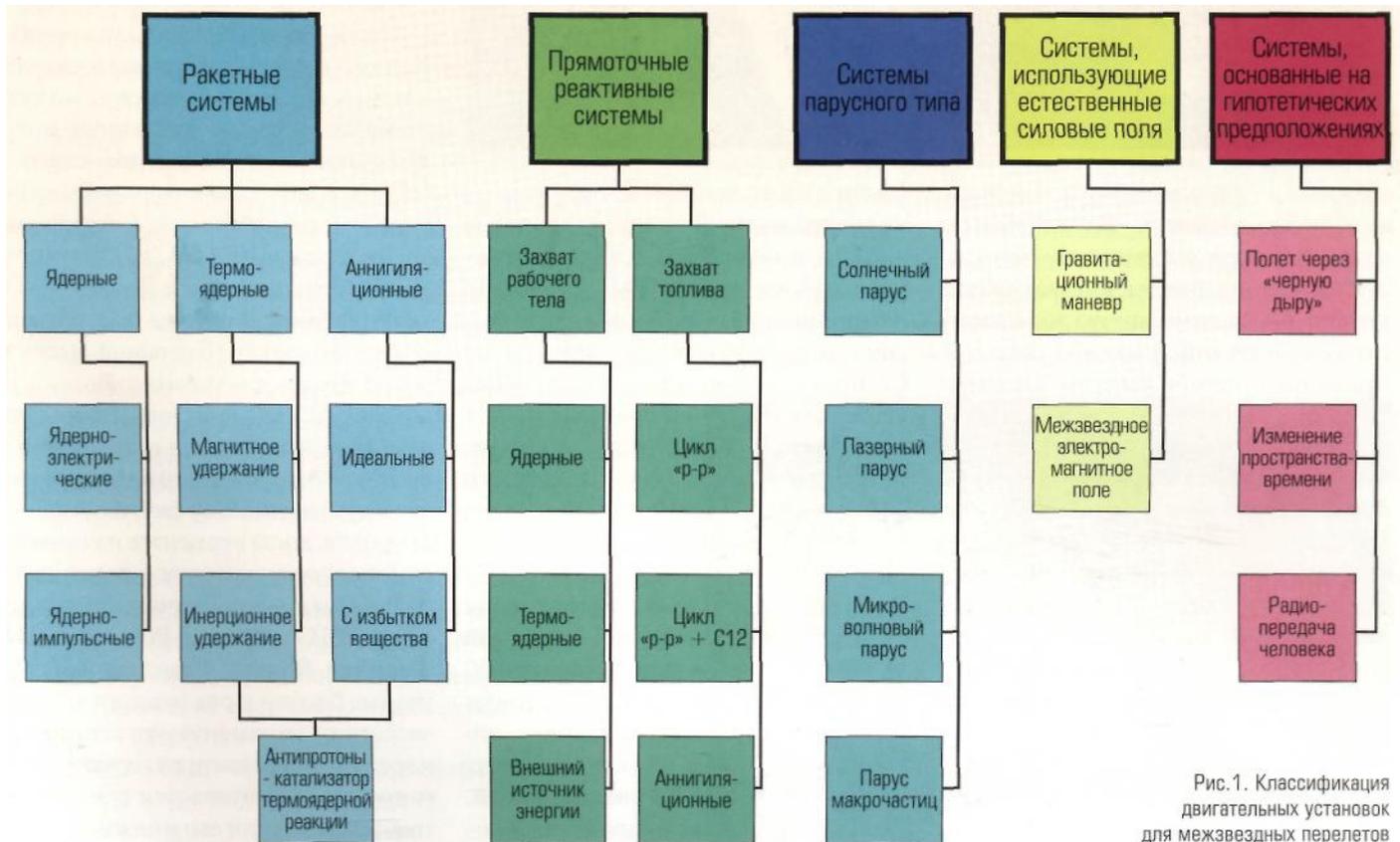


Рис. 1. Классификация двигательных установок для межзвездных перелетов

и рассмотрению самых разных двигательных концепций и аспектов их технической реализации.

Современный этап в основном определяется интенсивной экспериментальной отработкой технологий, необходимых для межзвездных перелетов, включая инерциальный термоядерный синтез, высокотемпературную сверхпроводимость, нанотехнологии. Есть также инициативные работы отдельных исследователей в России и за рубежом, небольшие теоретические проекты, финансируемые NASA (которое, что любопытно, не придерживается принципа опоры только на предвидимые технологии).

## МЕЖЗВЕЗДНЫЕ РАКЕТЫ

Ракетные двигатели для межзвездных перелетов должны использовать наиболее энергоемкие топлива из воз-

можущей ионизированное рабочее тело, используют ядерный реактор. Один из вариантов МП на таких двигателях, рассмотренный А. Бондом в 1971 году, предполагал доставку тысячетонного груза на дистанцию в 10 световых лет за четыре столетия. Стартовая масса корабля составила 200 млн тонн, причем элементы конструкции двигателя почти полностью использовались в качестве рабочего тела.

Но несмотря на некоторый теоретический опыт, в целом «ядерники» для межзвездных полетов мало пригодны — у них слишком мала доля прореагировавшего ядерного топлива. Однако эти двигательные установки часто предлагаются для так называемых предтечи межзвездных миссий. Миссии-предтечи предусматривают запуск КА в межзвездное пространство на значительные расстояния от

дует обратить внимание, так как в них вполне может быть реализован российский опыт в части создания космических ядерных реакторов и плазменных двигателей. А осуществление проекта-предтечи обещает весьма значимые научные результаты, новый технический опыт и — что немаловажно — большой общественно-политический отклик.

Достаточно кратко можно охарактеризовать аннигиляционные двигатели. Пока способы получения антивещества в сколько-нибудь приемлемых количествах неизвестны. При современных технологиях наработка 1 грамма антиматерии стоит 10 триллионов долларов, а производят его менее 100 нанограммов в год. Это означает, что аннигиляционные (фотонные) двигатели выходят за рамки предвидимых технологий. Тем не менее компания Nbar Technologies получила грант в 75 тысяч долларов от Института перспективных концепций NASA на проработку межпланетного аппарата, который мог бы использовать антивещество, собранное в пределах нашей Солнечной системы. Кроме того, появление и проработка самой идеи фотонных звездолетов дала существенный импульс изучению динамики релятивистских полетов (Е. Зенгер, Б. К. Федюшин и др.).

Наиболее реалистичные и проработанные проекты ракетных двигателей для межзвездных полетов основаны на использовании технологий инерциального термоядерного синтеза (ИТС), концепция которого была независимо разработана А. Сахаровым и Э. Теллером в 1951-53 гг. В реакторах ИТС небольшое количество (0,001 - 1 г) термоядерного топлива (так называемая «мишень») облучается высокоэнергичными лазерными либо ионными лучами. Под действием облучения верхние слои мишени испаряются, а возникающие реактивные силы приводят к кумулятивному сжатию мишени до уровня, когда в ее центре начинается самоподдерживающаяся реакция.

Работы по практической реализации ИТС ведутся в России, США, Франции, Японии. В настоящее время ученые близки к реализации «критического эксперимента», то есть выходу на режим, когда энергия термоядерного горения сравнивается с энергией, требующейся для его поджига.

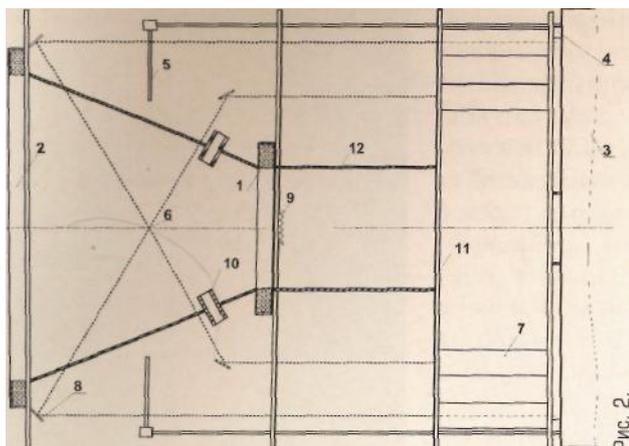


можных — ядерные, термоядерные и аннигиляционные. В импульсном ядерном ракетном двигателе используются ядерные бомбы, взрывающиеся позади КА, защищенного абляционно-демпфирующей плитой, которая принимает на себя импульс взрывов. Этот тип двигателя экспериментально отработывался в США в рамках проекта «Орион» (1957-1965 гг.). В варианте применения импульсного ядерного двигателя, предложенном Ф. Дайсоном, полезная нагрузка массой 35 000 тонн доставляется к системе Альфа Центавра за 130 лет. В качестве топлива для космического корабля Дайсон предложил использовать 300 000 ядерных бомб, общей массой 270 000 т.

Ядерно-электрические двигатели для получения электроэнергии, разго-

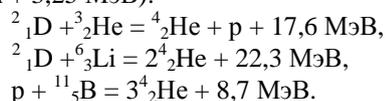
Солнца с целью проведения научных исследований. В конце 80-х годов в США достаточно детально прорабатывался проект TAU (Thousand Astronomical Units) — полет на тысячу астрономических единиц от Солнца с целью определения масштаба расстояний в пределах нашей Галактики, а возможно — и вне ее. Сейчас этот проект сменил несколько менее амбициозный ИЕ (Innovative Interstellar Explorer) — полет на дистанцию 200 астрономических единиц. Проект предусматривает старт зонда в 2014 году с достижением заданной дистанции в 2044 году. Конечно, 30 или даже 150 световых часов с точки зрения межзвездных сообщений — это очень немного: ведь ближайшая звезда отстоит от нас на 4,3 световых года. Однако на проекты-предтечи сле-

**ТИПОВАЯ СХЕМА ЛАЗЕРНОГО ТЕРМОЯДЕРНОГО РАКЕТНОГО ДВИГАТЕЛЯ**



На рис. 2 показана схема лазерного ТЯРД, выполненная в соответствии с разработками Р. Хайда, Л. Вуда и Дж. Наколлса (R. Hide, L. Wood & J. Nuckolls) (1972 г.). Камеру сгорания (КС) ТЯРД образуют два соосных сверхпроводящих соленоида — малого диаметра с высокой напряженностью магнитного поля (1) и большого диаметра с меньшей напряженностью (2). Из термоядерного топлива (3), которое в межзвездном пространстве может храниться без баков, в специальных установках (4) изготавливаются мишени массой 0,1-1,0 г. С помощью линейного магнитного ускорителя (5) мишени подаются в магнитный фокус КС (6) и поджигаются лучами многоканального газового лазера (7) фокусируемыми зеркалами (8). Большая часть образовавшейся высокоионизированной плазмы выталкивается магнитным полем по оси КС, существенно меньшая уходит в противоположном направлении в так называемый «конус потерь» и поглощается охлаждаемой защитой (9). Электроэнергия для накачки лазеров и устройств подачи мишеней обеспечивается соленоидами (10), ориентированными на точку горения. Расширяющаяся плазма деформирует магнитное поле, и его изменение генерирует ток в этих соленоидах. Все элементы ТЯРД либо нагреваются излучением из зоны термоядерного горения, либо сами являются мощными источниками тепла, поэтому самыми большими по размеру элементами двигателя являются радиаторы (11). Они могут быть выполнены на основе тепловых трубок либо по более эффективным схемам капельных или пылевых радиаторов. Жесткость конструкции обеспечивается трубчатыми силовыми элементами (12).

В качестве основных топлив для импульсного термоядерного ракетного двигателя (ТЯРД) рассматриваются топлива на основе реакций дейтерий-гелий-3, дейтерий-литий-6 и водород-бор-11, с малым выходом нейтронов (только за счет «побочных» реакций, например  ${}^2_1\text{D} + {}^2_1\text{D} = {}^3_2\text{He} + n + 3,25 \text{ МэВ}$ ):



Не вдаваясь в сравнительный анализ этих топлив, можно просто заметить, что чем более удобна реакция для практического «двигательного» применения, тем труднее ее «поджечь». Так что возможности практического использования этих реакций определяются преимущественно развитием технологий поджига. Для сегодняшних экспериментов чаще используются ниодимовые твердотельные лазеры, однако для применения в двигателях они не годятся из-за большой массы и малого КПД преобразования энергии накачки. Для ракетных двигателей рассматриваются лазерные драйверы на двуокиси углерода, йодный лазер и лазер на основе фтористого водорода. Помимо лазеров, возможно применение устройств, генерирующих пучки легких либо тяжелых ионов.

Если ограничиться уже созданными технологиями, термоядерная ракета будет, вероятно, наиболее эффективна. Для однокамерного ТЯРД вполне реально получить скорость истечения рабочего тела  $5 \times 10^6 \text{ м/с}$  и тягу 500 Н. Это будет лучший двигатель для полетов внутри Солнечной системы, а для того чтобы в приемлемые сроки реализовать и межзвездный перелет, понадобится связка из сотни таких двигателей. В 1976 году отечественные исследователи А. Филкоков и У. Закиров из ИПМ представили проект трехступенчатого КА «Икар» на основе лазерного ТЯРД для выхода на орбиту вокруг звезды Барнарда. Основные пути совершенствования ТЯРД — повышение КПД и мощности лазерной системы, частоты подачи мишеней и степени выгорания термоядерного топлива — сегодня открыты.

**ПРЯМОТОЧКА**

Идея использования вещества межзвездной среды (МС) в качестве аннигиляционного топлива была выдвинута Е. Зенгером. Термоядерную прямоточную ДУ предложил в 1958 году Р. Бассард. Примерно в это же время, а скорее даже раньше, схожие подходы гораздо детальнее рассматривались В. П. Бурдаковым и Б. С. Стечкиным в ОКБ-1 и МАИ. Однако так как их работы были засекречены, соответствующий тип двигателя вошел в научную литературу как двигатель Бассарда. Любопытно, что в том же 1958 году аналогичная идея была использована в фантастическом рассказе А. и Б. Стругацких.

Реактивные двигатели используют вещество МС в качестве топлива и/или рабочего тела. Плотность МС, в



основном состоящей из атомов водорода, крайне мала. В литературе часто приводится цифра 1 нуклон (атом) на кубический сантиметр. Современные оценки для окрестностей Солнца дают от 0,2 до 0,5 нуклона/см<sup>3</sup>. Поэтому в проектах межзвездных реактивных ДУ предполагается использование больших (радиусом в тысячи километров) электромагнитных сборников межзвездного вещества. Такие сборники могут захватывать только заряженные частицы (ионы), которые составляют примерно 20% от всего вещества МС. Для того чтобы использовать нейтральные атомы, их предполагается предварительно ионизировать УФ-излучением.

## МЕЖЗВЕЗДНЫЕ ПАРУСНИКИ

Третий класс межзвездных двигателей объединяет возможные технологии снабжения межзвездного КА энергией и/или рабочим телом «из дома», то есть из Солнечной системы. Рассматривались варианты лазерного и микроволнового паруса, варианты с разгоном лазерным лучом и с подпиткой потоком микрочастиц. Основной блок такого двигателя — околоземная орбитальная энергоустановка. Такие

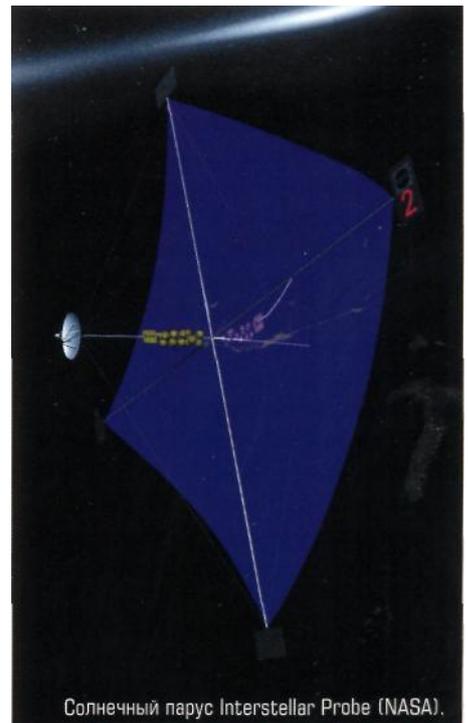
энергоустановки уже разрабатываются (Россия, Япония) в рамках проектов космических солнечных электростанций (КСЭ) — орбитальных аппаратов, предназначенных для обеспечения энергией труднодоступных районов.

Вариантом системы парусного типа служат и идеи использования межзвездной среды для торможения корабля у цели полета. Например, в проекте «Межзвездный ковчег» Г. Маглоффа предполагается использовать электростатический тормозной экран с зарядом в 1 Кулон для торможения со скорости 0,02 до 0,002 световой за 80 лет.

Солнечный парус предполагается использовать и еще в одном проекте-предтече — «Межзвездный зонд» (Interstellar Probe) NASA. В этом проекте используется 200-м солнечный парус для разгона 25 кг ПН вблизи Солнца на дистанции 0,25 а.е. от Солнца. За 15 лет зонд должен улететь на расстояние свыше 200 а.е.

## ВСЕ ЕСТЕСТВЕННОЕ...

Межзвездные КА могут использовать естественные силовые поля — гравитационное и электромагнитное. Хотя энергии этих полей недостаточно для того, чтобы самостоятельно реализо-



Солнечный парус Interstellar Probe (NASA).

вать межзвездный перелет, уже известные методы их использования позволят улучшить характеристики двигателей первых трех классов. Можно вспомнить, что КА «Пионер-10,-11» и «Вояджер-1,-2» уже использовали гравитационное поле Юпитера, чтобы покинуть Солнечную систему и выйти в межзвездное пространство.

## СХЕМА РЕАКТИВНОЙ ДВИГАТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ БАССАРДА

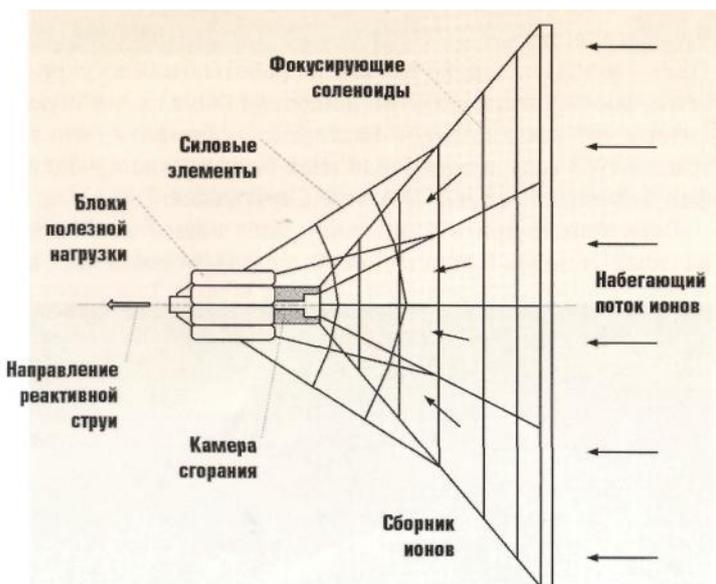
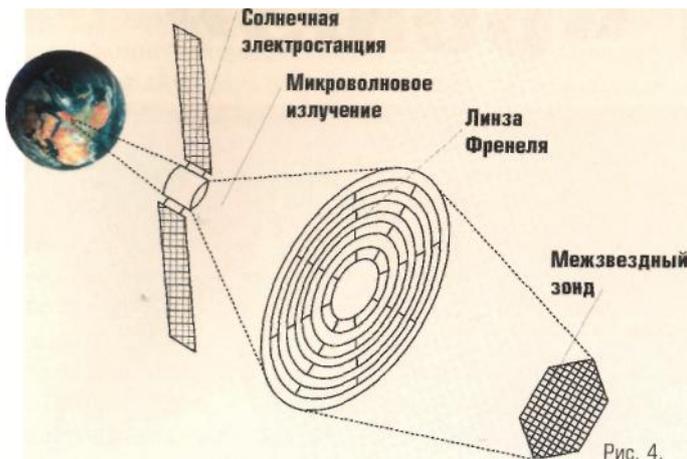


Рис. 3.

На рис. 3 показана упрощенная схема двигательной установки Бассарда. Встречный поток ионов межзвездной среды захватывается магнитным полем сборника ионов и фокусируется в камере сгорания. По идее Бассарда предполагалось использование протон-протон термоядерной реакции. Однако, хотя эта реакция и используется нами повседневно (ведь источник энергии Солнца — протон-протонный термоядерный цикл), она практически не годится для двигателя — слишком высока требуемая энергия поджига и слишком мал выход энергии (0,42 МэВ). Рассматривался вариант протон-протонной реакции, катализируемой углеродом. Хотя в этом случае характеристики топливного цикла улучшаются в сотни миллионов раз — все равно такие реакции находятся за гранью представимых возможностей.

Более реальную схему реактивной двигательной установки предложил в 1974 году А. Бонд. По этой схеме большая часть захватываемого вещества межзвездной среды используется в качестве рабочего тела, разгоняемого в ядерном или термоядерном реакторе. По расчетам Бонда, воспользовавшись этой концепцией, можно построить корабль массой 100 тысяч тонн, с полезной нагрузкой 30 тысяч тонн, с эффективным радиусом электромагнитного поля для сбора вещества межзвездной среды в 34 100 км [примерно половина радиуса Юпитера].

**СХЕМА «ЗВЕЗДНОЙ СОЛОМКИ» ФОРВАРДА**



В качестве примера систем парусного типа можно несколько подробнее рассмотреть схему межзвездного зонда Starwisp («Звездная соломка»), предложенную в 1985 году Р. Форвардом, [рис. 4). Зонд представляет собой проволочную сетку-парус с микросхемами в каждом узле. Километровый парус имеет массу 16 г и несет 4 г микросхем и микродатчиков. Ускорение в 115 g обеспечивается 10 микроволновыми лучами мощностью в 1 ГВт каждый, при этом скорость в 20% световой достигается через несколько дней. Микроволновый луч фокусируется радиоаналогом оптической линзы Френеля. По прибытии в систему Альфа Центавра проводятся исследования системы, а полученная информация передается на Землю с использованием конструкции паруса в качестве остронаправленной антенны. Форвард предлагал использовать для этого эксперимента КСЗ в период их отладки и испытаний. В 1985 году эта идея выглядела довольно-таки экзотической, однако современные успехи нанотехнологий делают ее вполне реалистичной.



Используется гравитационный маневр и в большинстве современных программ исследований дальних планет. Более сложные гравитационные маневры могут обеспечить скорость до 100 км/с. Прибавка скорости не очень велика, но она действует в течение длительного времени. В. Сурдин предложил использовать гравитационные поля белых карликов или нейтронных звезд для существенного изменения вектора скорости, с тем чтобы направить КА к другой звезде.

**ТОЛЬКО ГИПОТЕЗЫ**

Человек никогда не жаловался на недостаток фантазии, а недостаток наших знаний о процессах на уровне микромира элементарных частиц и на уровне макромира в космологических теориях — прекрасная почва для конструирования разных вариантов путешествий к другим планетам. К классу «гипотетических КА» относятся разного рода «деформаторы» пространства-времени (Warp drive), использование гипотетических туннелей («червоточин») в пространстве (Worm hole), «нырки» в черные дыры и многое другое. Несмотря на очень высокую гипотетичность такого рода проектов, NASA в 1996-2002 годах реализовало Breakthrough Propulsion Physics Project («Прорывной проект физической основы двигательных технологий»), в рамках которого рассматривались и широко обсуждались именно такие подходы. Мы же о них лишь упомянем — в качестве верхней границы представимых вариантов межзвездных ДУ.

**НАДО ЛИ? НАДО!**

Естественный вопрос, который всегда возникает при рассмотрении перспективных космических проектов — «а зачем это нужно?» Идут теоретические и экспериментальные исследования, результаты которых неизбежно скажутся на практической реализации будущих двигателей для межзвездных перелетов. Стоит ли «бежать впереди паровоза»? Рассмотрение предельных технических возможностей полезно для целей прогнозирования развития космонавтики. До сих пор оно практически всегда шло в направлении предвидимых технологических возможностей. Согласование космических перспектив с направлениями общетехнического прогресса повышает достоверность космических прогнозов и принимаемых решений. Например, нынешнее отставание российской космической отрасли в части комплектующих для КА явно связано с тем, что в свое время было недооценено значение быстроразвивающихся цифровых технологий.

Полезным представляется и изучение предельных технических возможностей в сфере специального образования будущими инженерами-ракетчиками. Это не только расширит технический кругозор молодых специалистов, но и будет способствовать использованию смежных технологий — лазеры, криогеника, сверхпроводники — в космических применениях. Вообще говоря, было бы полезным введение курса «Перспективные двигательные системы» в наших космических вузах. Ведь нынешние выпускники и абитуриенты наверняка столкнутся на практике с совершенно новыми, сегодня лишь туманно представляемыми космическими технологиями.

*Иван Мусеев*