

Кандидат
физико-математических наук
С.М.Комаров

Самые быстроходные корабли — это яхты. У них нет ничего лишнего, только обтекаемый корпус и мощный двигатель, и большего груза они не везут. Совсем не так обстоит дело с космическим кораблем. Основная часть его веса — топливо, сжигаемое для того, чтобы преодолеть действие силы тяжести. Значит, у космической яхты, хотя бы после того, как ракетоноситель вывел ее на околоземную орбиту, такого лишнего груза быть не должно. То есть либо источник энергии для движения должен быть очень компактным, либо вообще его нужно вынести за пределы космического корабля. Один из выходов — использовать главный источник энергии в Солнечной системе, а именно саму нашу звезду. Для этого яхту следует оснастить парусом, в который станет дуть солнечный ветер. К сожалению, этот проект пока что преследует фатальное невезение: в 2001 году спутник с таким парусом не смог отделиться от последней ступени ракетоносителя, а в 2005 году его собрат не вышел на запланированную орбиту. Но есть и другой способ — воспользоваться лучом света, создав фотонный движитель. Именно такое устройство сделали ученые из НИИ комплексных испытаний оптико-электронных приборов, который находится под Санкт-Петербургом в городе Сосновый Бор, при финансовой поддержке Международного научно-технического центра.

О двигателях фотонных и плазменных

«Отражатель — самый главный и самый хрупкий элемент фотонного привода, гигантское параболическое зеркало, покрытое пятью слоями сверхстойкого мезовещества. В фокусе параболоида ежесекундно взрываются, превращаясь в излучение, миллионы порций дейтериево-тритиевой плазмы. Поток бледного лиловатого пламени бьет в отражатель и создает силу тяги» — так братья Стругацкие в 1959 году представляли фотонный двигатель межпланетных космолетов XXI века. В каком-то смысле это предсказание удалось реализовать в 1998 году, когда небольшой, весом в 486 кг, американский спутник «Дип спейс 1» с помощью ионного двигателя отправился в путешествие к границе Солнечной системы. Конечно, поток ионов тяжелого вещества, в данном случае ксенона, ускоренных электрическим полем и оттого при вылете


из сопла создающих реактивную тягу, — это не термоядерные осколки, которые обладают колоссальной энергией; спутник с ионным двигателем получает совсем небольшой импульс. Однако за годы работы постоянное небольшое ускорение обеспечивает немалую скорость: к концу экспедиции в декабре 2001 года «Дип спейс 1», расходуя по 100 граммов ксенона в день, развил скорость 11 тысяч километров в час. Его полет был первым межпланетным путешествием, совершенным на ионном двигателе, а на околоземной орбите их используют для коррекции орбиты спутников с середины 70-х годов XX века.

Следующим в межпланетное путешествие с применением плазмы отправился европейский корабль «СМАРТ-1» (его название происходит от программы ЕКА «Small Missions for Advanced Research in Technology», то есть «Малые экспедиции для развития технологий») весом в 366 кг. Стартовал 27 сентября 2003 года, он спу-

Двигатель — машина, превращающая какой-либо вид энергии в механическую энергию.

Движитель — устройство, обеспечивающее движение какого-либо транспортного средства (например, винт самолета, колесо автомобиля и т.д.).

СЛОВАРЬ РУССКОГО ЯЗЫКА



Лазерный движитель для космической яхты

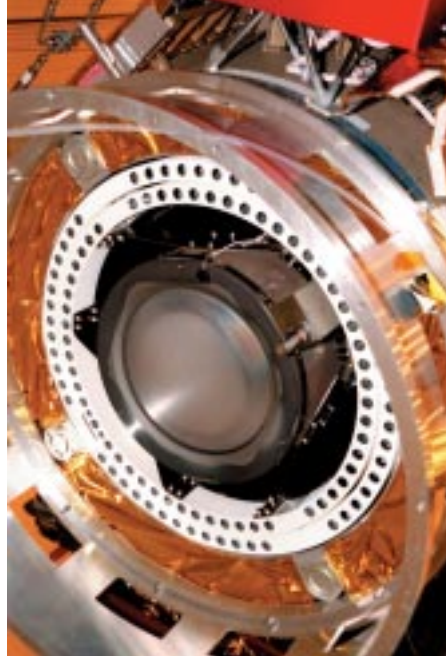
стя 14 месяцев вышел на орбиту вокруг Луны и в настоящее время исследует ее поверхность. Его двигатель, созданный калининградским НПО «Факел» и компанией «Снекма мотор» (Франция), тоже работает на ксеноне. С чем его можно сравнить? Есть такой разгонный блок «Фрегат» (НПО им. Лавочкина), выводящий космические корабли на межпланетную орбиту. Полный импульс, который его двигатель способен создать за счет сжигания диметилгидразина, в 14 раз больше, чем у ионного двигателя. Но топлива на это тратится в 70 раз больше. А малые ракетные двигатели создают полный импульс (то есть суммарный за все время эксплуатации) в 6,5 раз меньше ионного при том же расходе топлива. Как бы то ни было, такие двигатели пригодны только для неспешных путешествий автоматов, уж слишком медленно они разгоняются. Вряд ли будущие быстроходные космические яхты будут ими оснащены.

Лазерная дорожка к Луне и Марсу

Лазерный движитель, который, возможно, однажды поведет космический корабль по межпланетной трассе, устроен совсем по-другому и позволяет

*Двигатель для «СМАРТ-1»
проходит испытания*

*Ионный двигатель
для «Дип спейс 1»*



ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ НАУКИ

реализовать давнюю мечту конструкторов космических кораблей — избавиться от многотонного груза топлива, везущего само себя. В лазерном движителе основная энергия расходуется на создание импульса мощного лазера, а стоит этот лазер либо на Земле, либо на орбите. На космическом же корабле расположено зеркало, которое этот световой импульс ловит и превращает его в импульс движения. Способов такого превращения за последние сорок с лишним лет было предложено немало.

Первые упоминания о том, что с помощью расположенного на Земле лазера можно летать в космос, причем делать это с гораздо большим КПД, нежели при сгорании топлива, появились в начале семидесятых годов прошлого века. Так, доктор Артур Канторович из американской компании «AVCO-Everett Labs» в 1972 году предложил использовать для космического полета эффект лазерной абляции, то есть испарения материала в мощном луче лазера. Спустя год В.П.Коробейников из Математического института АН СССР решил задачу о движении тела под действием внешнего источника энергии, чему, впрочем, предшествовали работы Г.А.Аскарьяна из ФИАН — именно он определил давление, которое возникает при испарении ве-

щества в мощном потоке излучения. Развивая эти работы, один из создателей лазера академик А.М.Прохоров вместе с В.Ф.Бункиным в 1976 году предложили теорию формирования тяги в лазерном движителе. Согласно их идеям, если облучать газ мощным лучом импульсного лазера, сфокусированным линзой, то возникают локальные взрывы, которые порождают ударные волны. Они-то и служат источником реактивного импульса. Теория Прохорова стала основой для расчета элементов конструкции двигателей, которые работают в атмосфере. А работы американца Энтони Пирри помогли рассчитать двигатель для полетов в вакууме. В 1997 году расчеты наконец-то воплотились в металл: профессор Лейк Мирабо провел первые успешные запуски аппарата с лазерным реактивным двигателем на полигоне Уайт-Сэнд в штате Нью-Мексико.

В 2002 году профессор отделения механики Токийского института технологии Такаси Хабэ и Клод Фипс, президент компании «Photonics Associates» из Санта-Фе, предложили концепцию использования стационарных лазеров для путешествий в околоземном и окололунном (!) пространствах. Согласно их плану, лазерные станции, размещенные на Земле, на Луне и на околоземных орбитах, сделают три важных дела. Во-первых, обеспечат экологически чистый запуск спутников, то есть такой, при котором сгорает немного кислорода, во-вторых, позволят легко корректировать орбиты искусственных спутников, а в-третьих, дадут возможность космическим кораблям путешествовать по маршруту Земля–Луна и обратно без значительных затрат топлива.

В общем, расстояние тут не имеет особого значения — свет в космосе распространяется без всякого поглощения, разве что увеличивается диаметр луча. В этом случае просто понадобится еще одно зеркало, перехватывающее весь луч и фокусирующее его в двигатель.

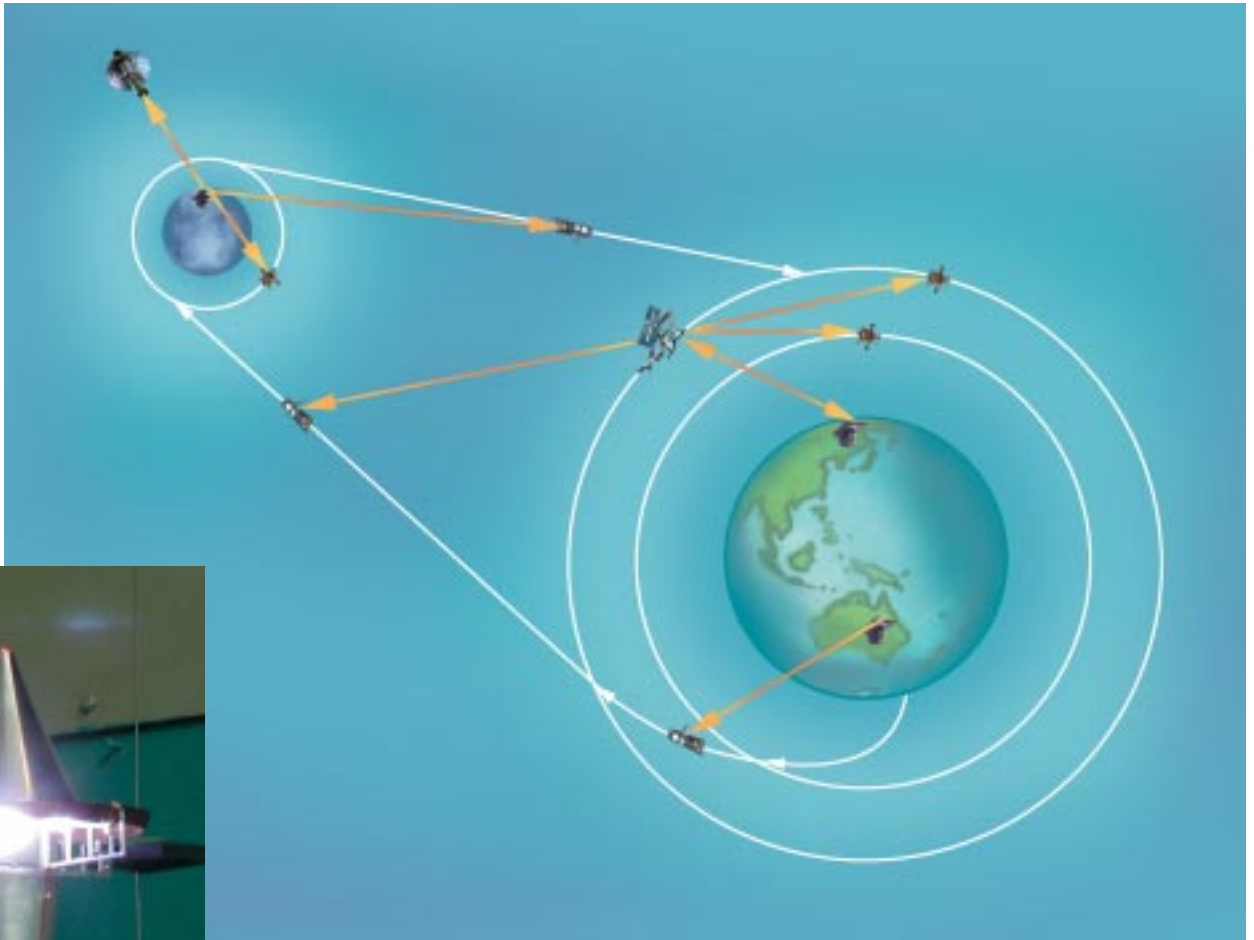
Поскольку источником энергии для лазеров, размещенных в космосе, будет служить свет Солнца, преобразуемый в электричество с помощью солнечных батарей, такая транспортная система, будучи однажды построенной, сможет устойчиво работать неограниченно долгое время, а ее содержание обойдется совсем недорого. Правда, первичные затраты довольно велики, но не чрезмерны, а вполне сопоставимы со стоимостью подготовки марсианской экспедиции на ракете с ядерным двигателем. Кстати, похожую концепцию межпланетных перелетов, только с использованием потоков плазмы и плазменных парусов, точнее, пузырей, предлагает Роберт Уингли из университета штата Вашингтон (см. «Химию и жизнь», 2004, №12)

Что же касается конкретных разработок лазерных движителей, то они начались уже в XXI веке. В нашей стране — например, в МГТУ им. Н.Э.Баумана или в Сосновом Бору.

Небольшое техническое отступление

Всего предложено три типа лазерных движителей. В первом из них за счет чрезвычайно высокой концентрации электромагнитного поля в мощном луче лазера происходит оптический

Общий вид макета двигателя, созданного учеными из Соснового Бора



В будущем наземные лазерные станции помогут выводить на околоземную орбиту космические корабли и спутники. Лучи лазера (на рисунке — оранжевого цвета) с орбитальной станции будут корректировать орбиты спутников, а также переводить челноки с околоземной на окололунную орбиту. Лунная лазерная станция, в свою очередь, будет поддерживать спутники Луны на орбите и возвращать челноки назад. Кроме того, эта же станция обеспечит отправку кораблей к Марсу

пробой воздуха, своеобразная руко-творная молния. В канале образуется плазма, возникают ударные волны, которые, как сказано выше, и обеспечивают движение, отталкиваясь от стенок сопла. Этот подход дает не самый большой импульс реактивной отдачи, а вот удельный импульс тяги оказывается вполне высоким, тысячи секунд. (С помощью этих параметров сравнивают эффективность двигателей и ракетных топлив. Первый ввели специально для лазерных двигателей, он представляет собой величину тяги, отнесенную к мощности лазера, и измеряется в ньютонах на ватт. Второе же понятие соответствует тому импульсу, который дает килограмм топлива, сгорающий за одну секунду. А измеряется этот параметр в секундах. У хороших ракетных топлив величина удельного импульса тяги составляет 300–500 с.) Большой удельный импульс отдачи нужен космическому кораблю для того, чтобы оторваться от поверхности Земли, а большой удельный импульс тяги — чтобы лег-

ко маневрировать в космосе, расходуя при этом как можно меньше топлива.

Самый мощный, в десятки тысяч секунд, импульс тяги лазерного двигателя получается за счет сильного испарения — абляции материала зеркала. Но отдача при этом оказывается совсем маленькой, в десять раз меньше, чем нужно для отрыва от Земли. Ее удастся повысить в сто раз, если испаряется многослойный материал со специально организованной внутренней структурой, но при этом импульс тяги падает в тысячу раз.

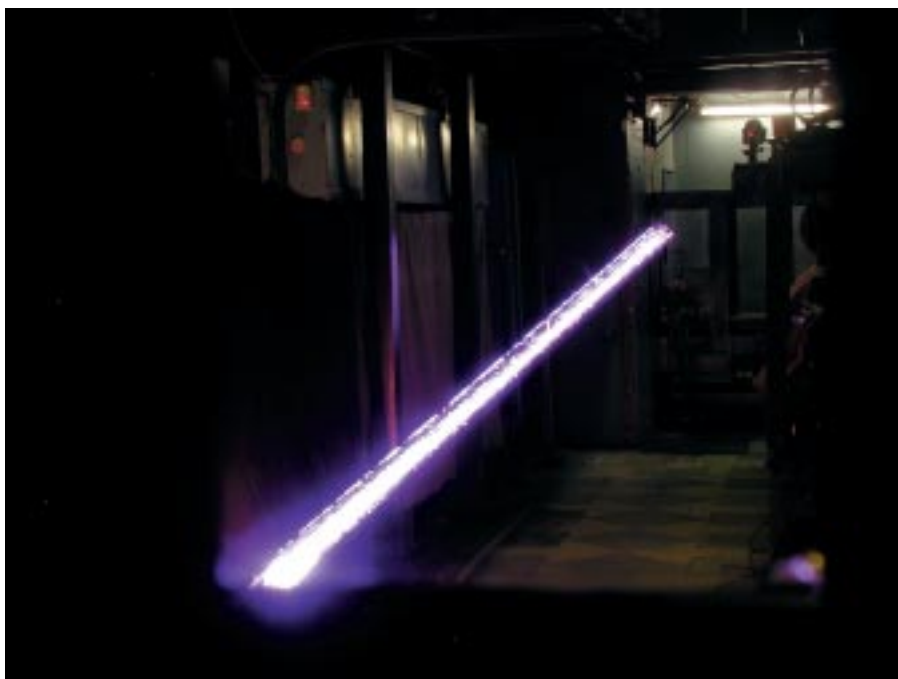
Как оказалось, оптимальное сочетание получается, если испарившееся вещество вступает в химическую реакцию, например, с воздухом и его частицы приобретают дополнительную скорость. У такого двигателя импульс тяги измеряется сотнями секунд, а реактивная отдача достаточно велика, чтобы вывести корабль за пределы атмосферы. Поскольку кислорода там нет, гореть материал не сможет, и корабль для маневрирования на орбите будет использовать второй прин-

цип — абляции материала. Конечно, можно загрузить на него окислитель, и тогда удастся и в космосе получить хорошую реактивную тягу, но при этом вес корабля увеличится, и он уже не будет напоминать космическую яхту. Именно идею испарения и сгорания вещества при реакции с кислородом атмосферы выбрали ученые из Соснового Бора, создавая прототип лазерного движителя.

Полет по лучу

Покончив со скучными техническими подробностями, можно перейти к делу.

Проект создания лазерного движителя для космического корабля, который закончился в 2005 году успешными испытаниями, финансировал Международный научно-технический центр. Ученым из НИИ комплексных испытаний оптико-электронных приборов помогли их коллеги из Института лазерной физики и ФТИ им. А.Ф. Иоффе. В проекте участвовала Национальная аэрокосмическая лаборатория Японии. «Японцы очень заинтересо-



Такой след остается в воздухе за макетом аппарата во время его полета, если снимать полет фотоаппаратом в режиме постоянно открытого затвора

лись созданием лазерной системы реактивной тяги для перемещения космических кораблей, — говорит руководитель проекта кандидат технических наук Ю.А.Резунков. — Ведь есть целых четыре возможных направления ее использования. Помимо запуска аппаратов на околоземную орбиту, это и удаление космического мусора за счет изменения орбит его частиц, и защита космических станций от этого мусора, и организация межорбитальных полетов».

Итак, главное достоинство перемещения в пространстве с помощью луча лазера в том, что источник энергии находится на Земле или на орбите и, стало быть, кораблю не надо везти на себе огромные запасы ракетного топлива, вес которого многократно превышает вес полезной нагрузки. Получается, что корабль с лазерным двигателем в самом деле будет походить на быстроходную яхту, у которой нет ни одной лишней детали, только мачта и легкий парус, в данном случае — зеркало. «Мы придумали очень интересную конструкцию, — рассказывает ведущий сотрудник проекта кандидат физико-математических наук В.В.Сте-

панов. — В нашей модели не одно, а два зеркала. Они нужны для того, чтобы корабль мог лететь навстречу световому лучу. Это очень важно: лазерный луч в такой конструкции не рассеивается на продуктах испарения материала. Первое зеркало выглядит очень необычно: оно похоже на гладко отполированный острый шпиль. Луч лазера падает на него и, отражаясь, собирается на другом зеркале, которое надето на широкую часть шпиля как обод на ступицу колеса. Это зеркало концентрирует собранный свет в камере, в которой расположено испаряемое вещество. Оно испаряется, сильно нагревается под воздействием лазерного излучения и стремительно вылетает через сопло, обеспечивая кораблю реактивную тягу».

За три года работы ученые провели много опытов, чтобы подобрать вещество с наилучшими параметрами. Сначала эксперименты проводили с жидким топливом, которое впрыскивали в рабочую зону с помощью форсунок. Эксперименты с более удобными твердыми веществами показали, что лучшую тягу обеспечивает полиформальдегид. Ближайший его со-

перник — поливинилхлорид давал тягу на 30% меньше, а поликарбонат — в два с лишним раза меньше. Поэтому для испытаний полетной модели был выбран полиформальдегид.

Модель космического корабля, способного летать по лазерному лучу, получилась небольшой: диаметр второго зеркала 20 сантиметров, а вес — 200 г. В лаборатории этот кораблик отлично летал со скоростью 3–4 м/с при мощности лазерного излучения 5 кВт, развивая при этом тягу в 1,5 Н. Это в полтора раза больше, чем у двигателей малой тяги, работающих на жидком топливе — гидразине, используемых для коррекции орбиты и ориентации космических станций, и в тысячу раз меньше, нежели у разгонного блока «Фрегат».

«В основе успеха лежат наши многолетние исследования по взаимодействию лазерного излучения с веществом, — говорит Ю.А.Резунков. — Благодаря гранту МНТЦ мы смогли хорошо разобраться в особенностях распространения лазерного излучения в турбулентной атмосфере и создали программное обеспечение, которое позволяет точно фокусировать луч на вершине первого зеркала двигателя и поддерживать его в этом положении во время движения модели космического корабля. К сожалению, для того, чтобы с помощью лазера выводить в космос аппараты, нужны лазеры, способные хотя бы полчаса давать стабильный луч мощностью более 1 МВт. Сейчас такие лазеры только разрабатывают. Кто первым его сделает, тот и полетит в космос по лазерному лучу. Задача осложняется тем, что подобные лазеры, тем более расположенные на околоземной орбите, представляют собой элемент системы противоракетной обороны и их разработка подпадает под действие соответствующих международных договоров».

Топливо	Тяга (Н)	Удельный импульс (с)
Гидразин (двигатели малой тяги для коррекции орбиты)	1	200
Несимметричный диметилгидразин с тетраоксидом азота (разгонный блок «Фрегат»)	$1,96 \cdot 10^4$	320
Ксенон (ионный двигатель «СМАРТ-1»)	$6,8 \cdot 10^{-2}$	1640
Полиформальдегид с воздухом в луче лазера 5 кВт (прототип лазерного двигателя из Соснового Бора)	1,5	1000

