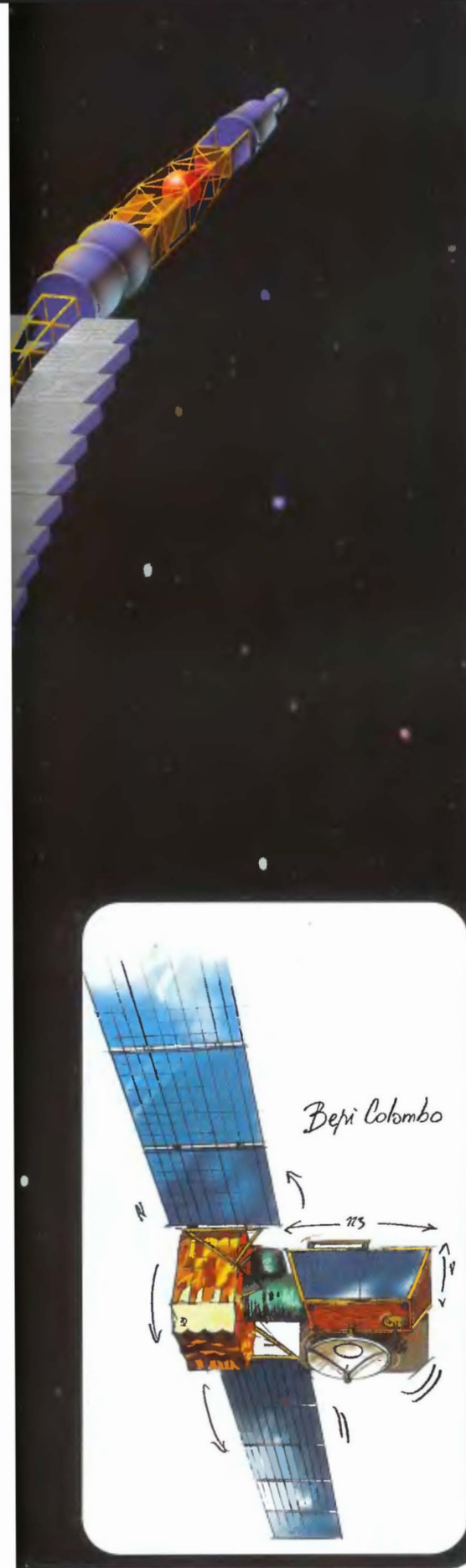


ХИМИЯ ДАЛЕКО НЕ УВЕЗЕТ

Какими двигателями будут оснащены американские межпланетные корабли



НА ЭЛЕКТРОТЯГЕ К ЗВЕЗДАМ Проект NASA Prometheus (Прометей) будет разгоняться другим древнегреческим мифологическим героем – Гераклом. Heraclides – так называется пока не разработанный ионный двигатель с тягой около 60 г и удельным импульсом 7000 с. Более реальный европейский проект, автоматическая станция VeriColombo для полета к Меркурию, тоже будет оснащена электроракетными (ионными) двигателями



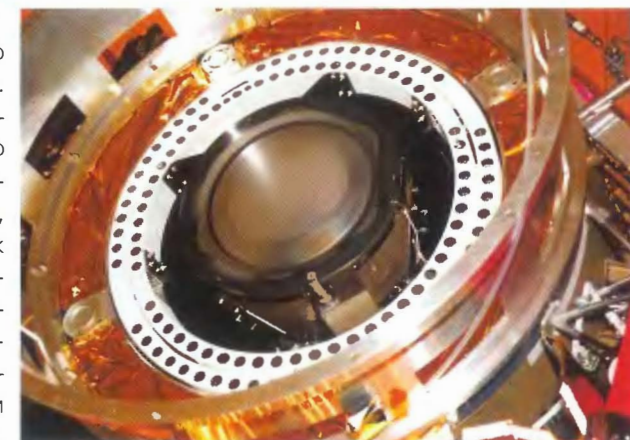
4 октября 2007 года исполнится 50 лет со дня запуска первого искусственного спутника Земли, ознаменовавшего начало космической эры. Однако в дальний космос пока что летают одни автоматы

Весной 2001 года руководитель NASA Дэниел Голдин высказал предположение, что космический корабль с экипажем достигнет Марса не позже, чем через десять лет. Эти планы довольно быстро изменились: в настоящее время NASA лишь обещает к 2020 году "возвратить человека на Луну", а экспедиция на Красную планету отложена на неопределенное время. Кое-кто в США предлагает вскоре приступить и к подготовке астронавтов для лунных и марсианских полетов.

До сих пор практически все космические аппараты оснащались ракетными маршевыми двигателями на химическом топливе. По всей вероятности, для

первых полетов на Марс будут использованы ракеты такого же типа.

Но возможности двигателей на химическом горючем значительно ограничены энергетикой окислительно-восстановительных реакций. Все современные ракеты в перерасчете на единицу израсходованного горючего создают не слишком большую тягу. Поэтому в дальний полет, к примеру, к внешним планетам Солнечной системы, сегодня можно отправить лишь относительно легкий аппарат. К тому же траекторию такого корабля прокладывают так, чтобы на пути к месту назначения он разогнался в гравитационных полях планет или их спутников. Именно поэтому для дальних полетов столь узки стартовые "окна", интервалы времени с благоприятным расположением планет – не в астрологическом смысле, а в соответствии с требованиями небесной механики.



ИОННЫЙ ПИОНЕР 24 октября 1998 года с мыса Канаверал был запущен зонд Deep Space 1, оснащенный ионным двигателем NSTAR. Впервые в истории NASA не ставило перед зондом научных задач, ограничившись экспериментами с двигателем

Космический электромотор

Чтобы корабль смог преодолеть земное притяжение и уйти в странствие к другим мирам, его скорость должна превысить вторую космическую, 11,2 км/с. На практике космические аппараты сперва выводят на околоземную орбиту, а затем уже с нее отправляют в открытый космос. Водородно-кислородный двигатель способен увеличить орбитальную скорость корабля не больше, чем на десять километров в секунду, двигатель на ином химическом топливе – еще меньше. Такие скорости достаточны даже для полета к границам Солнечной системы, хотя и по очень протяженной траектории (и с обязательным использованием планетарного гравитационного ускорения). И хотя корабль с традиционным дви-

гательем сможет достичь самой отдаленной планеты, для этого ему понадобятся долгие годы.

Разумеется, существуют и другие возможности. Космические аппараты уже давно оснащают ионными двигателями. Эта разновидность электрореактивного двигателя вообще не потребляет химического горючего, поскольку обеспечивается энергией от аккумуляторов, радиоизотопных генераторов или солнечных батарей. Основное достоинство ионного двигателя – долговременное функционирование при относительно небольшом

расходе рабочего тела. Однако в нынешнем виде такие двигатели развивают очень слабую тягу, всего несколько граммов. Поэтому они используются для корректировки спутниковых орбит либо для медленного длительного ускорения небольших аппаратов непосредственно в космическом пространстве.

Именно такой мотор, созданный французской фирмой Spesma Moteurs, осенью 2003 года вывел с околоземной орбиты европейский зонд SMART-1, который в феврале 2005 года превратился в искусственный спутник Луны. В качестве рабочего тела в этом двигателе была использована ксеноновая плазма. Разогнанные в электрическом поле ионы ксенона выбрасывались в пространство и создавали реактивную тягу. Двигатель PPS-1350 проработал в космосе приблизительно 5000 часов при тяге в 7 г, истратив за это время 80 кг ксенона. В будущем ЕКА предполагает оснастить двигателями этого типа автоматическую станцию ВеріColombo, предназначенную для полета к Меркурию, солнечный зонд Solar Orbiter и космический детектор гравитационных волн LISA (Laser Interferometer Space Antenna).

По сравнению с химическими конкурентами

удельный импульс ионных двигателей выглядит просто роскошно. У PPS-1350 этот показатель равен 1640 с, у английского двигателя UK-10, корректирующего орбиты геостационарных спутников связи, почти вдвое больше – около 3100 с. Расход рабочего тела ионного мотора очень мал, создаваемое им ускорение невелико, и поэтому набор скорости происходит медленно. Однако даже и при таких скромных возможностях ионный двигатель способен увести корабль с околоземной орбиты и

СПУТНИК ЛУНЫ С ИОННЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ

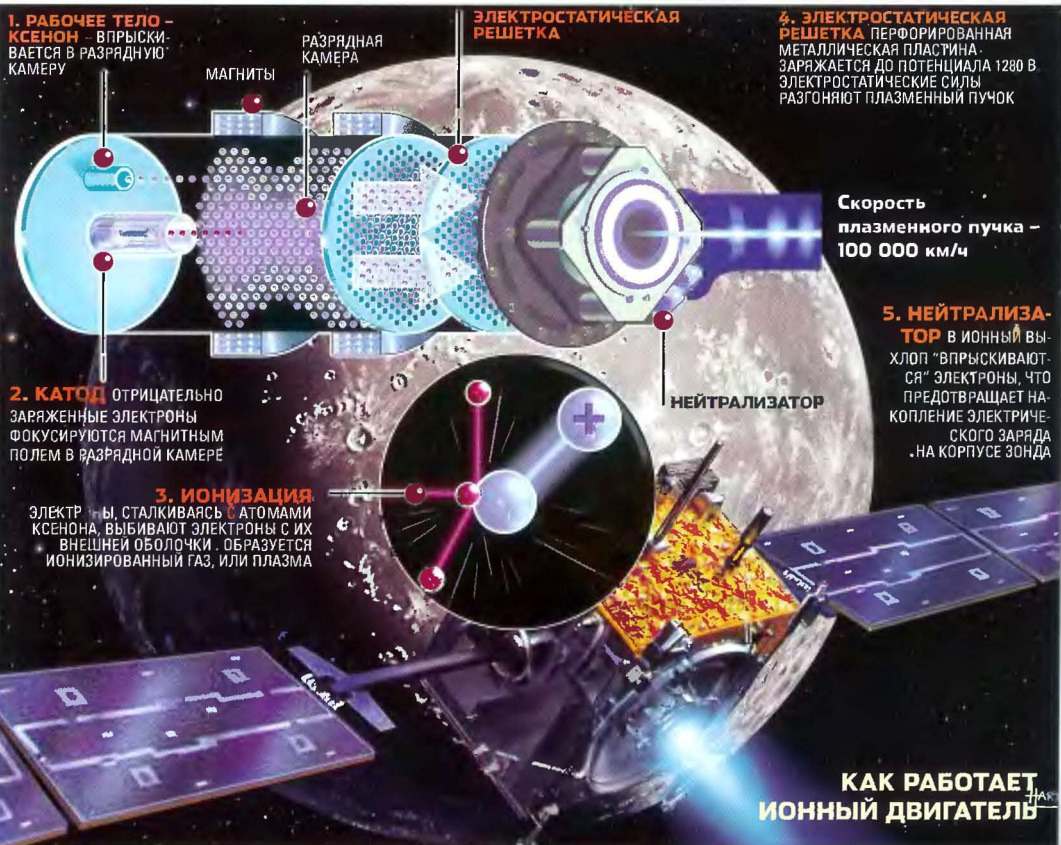
SMART-1 Лунному зонду Европейского космического агентства понадобилось 16 месяцев, чтобы выйти на орбиту вокруг Луны



ЦЕЛЬ МИССИИ

Поиск следов воды и льда, проливающих след на происхождение Луны, и составление минералогической карты Луны

ИОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ



1. РАБОЧЕЕ ТЕЛО – КСЕНОН – ВПРЫСКИВАЕТСЯ В РАЗРЯДНУЮ КАМЕРУ

РАЗРЯДНАЯ КАМЕРА

МАГНИТЫ

ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКАЯ РЕШЕТКА

4. ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКАЯ РЕШЕТКА ПЕРФОРИРОВАННАЯ МЕТАЛЛИЧЕСКАЯ ПЛАСТИНА. ЗАРЯЖАЕТСЯ ДО ПОТЕНЦИАЛА 1280 В. ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИЕ СИЛЫ РАЗГОНЯЮТ ПЛАЗМЕННЫЙ ПУЧОК

Скорость плазменного пучка – 100 000 км/ч

2. КАТОД ОТРИЦАТЕЛЬНО ЗАРЯЖЕННЫЕ ЭЛЕКТРОНЫ ФОКУСИРУЮТСЯ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ В РАЗРЯДНУЮ КАМЕРУ

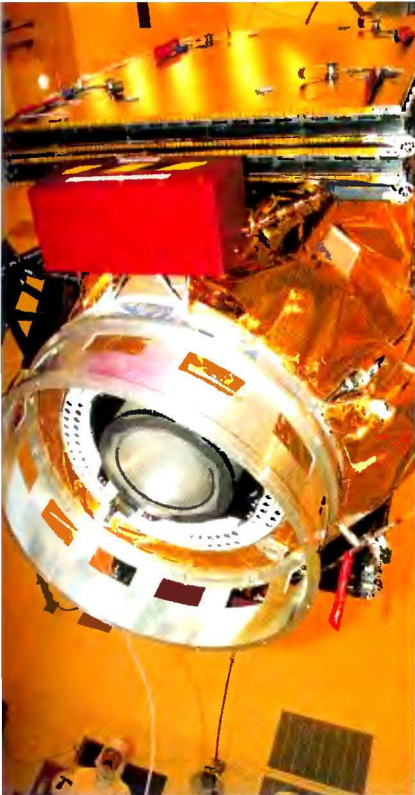
3. ИОНИЗАЦИЯ

ЭЛЕКТРОНЫ, СТОЛКИВАЯСЬ С АТОМАМИ КСЕНОНА, ВЫБИВАЮТ ЭЛЕКТРОНЫ С ИХ ВНЕШНЕЙ ОБОЛОЧКИ. ОБРАЗУЕТСЯ ИОНИЗИРОВАННЫЙ ГАЗ, ИЛИ ПЛАЗМА

НЕЙТРАЛИЗАТОР

5. НЕЙТРАЛИЗАТОР В ИОННЫЙ ВЫХЛОП “ВПРЫСКИВАЮТСЯ” ЭЛЕКТРОНЫ, ЧТО ПРЕДОТВРАЩАЕТ НАКОПЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЗАРЯДА НА КОРПУСЕ ЗОНДА

КАК РАБОТАЕТ ИОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ



Удельный импульс ионных двигателей по сравнению с химическими весьма велик, а вот тяга гораздо скромнее

мало-помалу обеспечить ему прирост скорости гораздо больший, чем 10 км/с, но вот времени на это требуется просто прорва. SMART-1 на своем ксеноновом моторчике добирался от Земли до Луны почти полтора года, поскольку двигался не “напрямик”, а по раскручивающейся спирали.

Ядерные ракеты

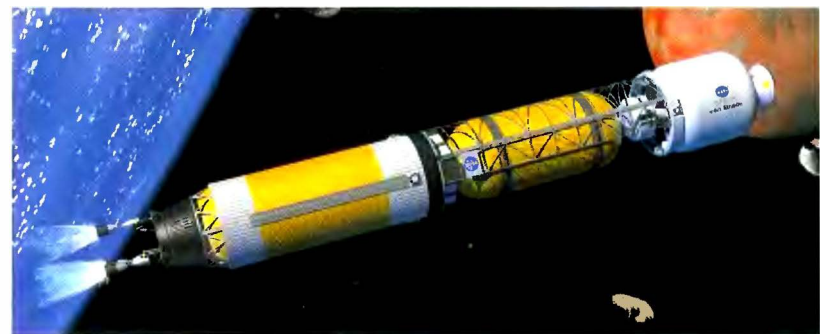
Тем не менее дело не совсем безнадежно. Если б можно было построить двигатель с таким же расходом рабочего тела, как у химических ракет, но, по крайней мере, с вдвое большим удельным импульсом, ситуация бы значительно улучшилась. Такой мотор увеличил бы орбитальную скорость космического аппарата не на 10 км/с, а на 20 км/с и даже больше. Корабль с подобными двигателями преодолел бы расстояние от Земли до Сатурна не за семь лет, как зонд “Кассини”, а всего за три года.

К счастью, эта задача становится разрешимой, если вместо химических или электрических “разгонщиков” использовать ядерные ракетные двигатели (ЯРД). Они способны обеспечить вполне приемлемые параметры тяги и достаточно высокий удельный импульс, обусловленный огромной скоростью истечения рабочего тела. Очень важно, что для создания ЯРД вовсе не обязательны футуристические технические решения, вполне может хватить уже существующих технологий.

Идея ЯРД проста до глупости, как говорил инженер Гарин о своем гиперболоиде. Источником энергии служит ядерная установка, в которой идут реакции деления, синтеза или даже аннигиляции материи и антиматерии. Выделяемая реактором энергия непосредственно или через промежуточные этапы передается рабочему телу, которое с большой скоростью выбрасывается из ракетных со-

пел. Конечно, это лишь принципиальная схема. Все прочее – уже конкретные технические решения.

Если оставить за кадром аннигиляцию и прочие полуфантастические идеи, то на сегодня просматриваются две реальные возможности исполнения ЯРД. Одна из них – охлаждение реактора летучим веществом, лучше всего жидким водородом, который после испарения будет уходить через сопла и создавать реактивную тягу. Такую конструкцию принято называть тепловой ядерной ракетой, TNR (Thermal Nuclear Rocket). При использовании реактора на уране или плутонии удельный импульс TNR должен составить от 800 до 1100 секунд. Другая возможность – оснащение корабля небольшой атомной электростанцией (ЯЭУ – ядерная энергоустановка), которая вырабатывает ток для питания электрореактивного двигателя. Удельный импульс этой системы можно довести до 5000 с. В качестве силовой установки можно использовать и компактный термоядерный реактор, но его в самом лучшем случае создадут лет через 50.



ORION и NERVA

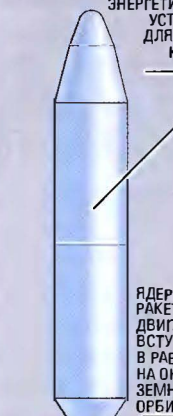
Писатели-фантасты и популяризаторы науки заговорили об атомных ракетах еще в 30-е годы XX века. В качестве практически достижимой цели ЯРД первым предложил Станислав Улам. Американец польского происхождения, выпускник Львовского политехнического института, Улам был исключительно сильным математиком (он придумал метод Монте-Карло) и физиком-расчетчиком (вместе с Эдвардом Теллером разработал теоретические основы конструкции водородной бомбы). В 1944 году Улам и его лос-аламосский коллега Фредерик де Хоффман впервые просчитали возможности применения ЯРД для космических полетов. Через 11 лет Улам и Корнелиус Эверетт в секретной докладной записке предложили разгонять космические корабли с помощью маломощных ядерных взрывов. Энергия взрыва расходовалась на испарение диска из твердого вещества, расположенного между кормой корабля и ядер-

ным зарядом. Возникающий поток плазмы должен был бы отражаться от кормового экрана и толкать корабль вперед.

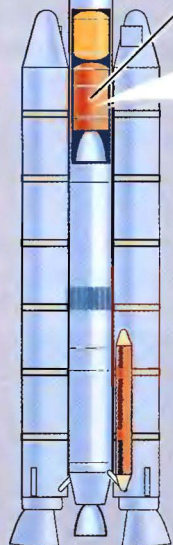
Идея Улама и Эверетта легла в основу проекта Orion, над которым в 1958 году начала работать калифорнийская корпорация General Atomics, до этого занимавшаяся только коммерческими ядерными реакторами. Под эту задачу выделил деньги (впрочем, не слишком большие) и Пентагон. До атомных взрывов дело не дошло, испытывались лишь различные модели дисков и экранов. Поначалу участники проекта были исполнены такого оптимизма, что всерьез надеялись запустить атомный корабль к Сатурну не позже 1970 года. Любопытно, что среди них был один из создателей квантовой электродинамики, знаменитый физик-теоретик Фримен Дайсон. Но в начале 1960-х министр обороны Роберт Макнамара пришел к выводу, что в военном плане эта идея бесперспективна. А в 1963-м СССР, США и Великобритания договорились о запрете всех ядер-

ЯДЕРНАЯ РАКЕТА ДЛЯ ПОЛЕТА К МАРСУ

ЭЛЕКТРОРЕАКТИВНЫЕ ДВИГАТЕЛИ И ЯДЕРНАЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ПОЛЕТА К МАРСУ

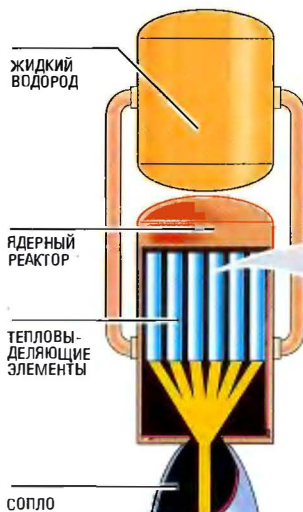


ЯДЕРНЫЙ РАКЕТНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ ВСТУПАЕТ В РАБОТУ НА ОКОЛОЗЕМНОЙ ОРБИТЕ



Ракета-носитель для выведения на околоземную орбиту

Жидкий водород испаряется во время прокачивания через активную зону ядерного реактора



ЖИДКИЙ ВОДОРОД

ЯДЕРНЫЙ РЕАКТОР

ТЕПЛОУДЕЛЯЮЩИЕ ЭЛЕМЕНТЫ

СОПЛО

Удельный импульс такого двигателя превышает аналогичный показатель традиционных ракет более чем в три раза

Тепло выделяющие элементы состоят из двух перфорированных труб, пространство между которыми заполнено гранулами урана

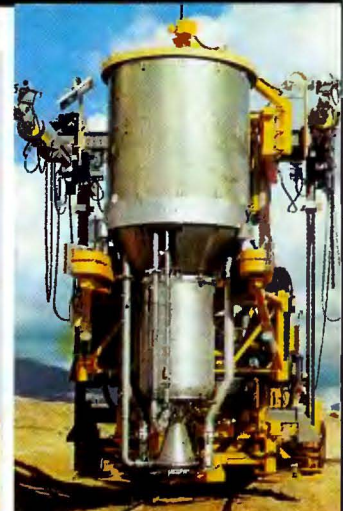


ЖИДКИЙ ВОДОРОД

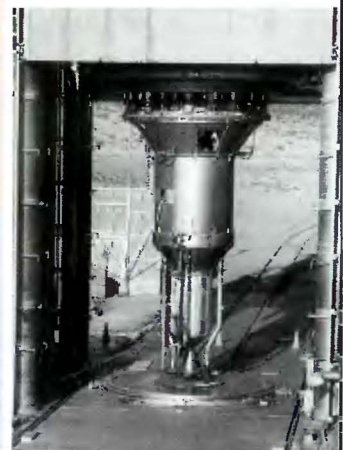
ОБОГАЩЕННЫЕ УРАНОВЫЕ ГРАНУЛЫ

ГАЗООБРАЗНЫЙ ВОДОРОД

Реакция уранового распада разогревает водород до 3000°C и делает его слегка радиоактивным



ПРОЕКТ NERVA Настоящий гибридный ракетный двигатель и ядерного реактора был разработан в США в 1960-х. В 1968 году мотор XE Prime даже прошел стендовые испытания. Однако в 1972 году программу закрыли из-за недостатка денег



ных взрывов, за исключением подземных. В результате проект Orion вступил в противоречие с международным правом и год спустя тихо скончался. Обошелся он в целом не так уж и дорого – всего в \$11 млн.

В техническом плане Orion можно считать пульсирующим TNR, вынесенным за пределы космического аппарата. В другом любопытном проекте – Helios – предполагалось детонировать атомные заряды не вне, а внутри корабля, в заполненной водой сферической камере из термостойкого материала. Образовавшийся при взрыве пар должен был выбрасываться через сопла и разгонять ракету.

Но дальше всего в США зашли начатые в 1956 году работы по проекту NERVA (Nuclear Engine for Rocket Vehicle Application), цели которых много раз изменялись. В конце концов было решено построить два пилотируемых корабля с ЯРД, которые в начале 1980-х доставили бы 12 американских астронавтов на Марс и возвратили

их назад на Землю. В ходе реализации этого проекта с разной степенью успеха были опробованы модели экспериментальных ядерных реакторов Kivi, Phoebus, PEWEE и NF-1. В 1968 году состоялись стендовые испытания прототипа будущего ракетного мотора XE Prime мощностью 1100 МВт, и уже шло дело к изготовлению образца для летных испытаний. Однако в 1972 году программу закрыли, сочтя ее чересчур дорогой и практически ненужной ни в научном, ни в политическом плане.

Новый Прометей

В последней четверти XX века NASA больше не занималось разработкой ЯРД. Министерство обороны США еще некоторое время сохраняло опытно-конструкторскую программу SNAP (Space Nuclear Thermal Propulsion), но в 1992-м ее финансирование полностью прекратили. Около десяти лет назад небольшая фирма Plus Ultra Technologies обнародова-



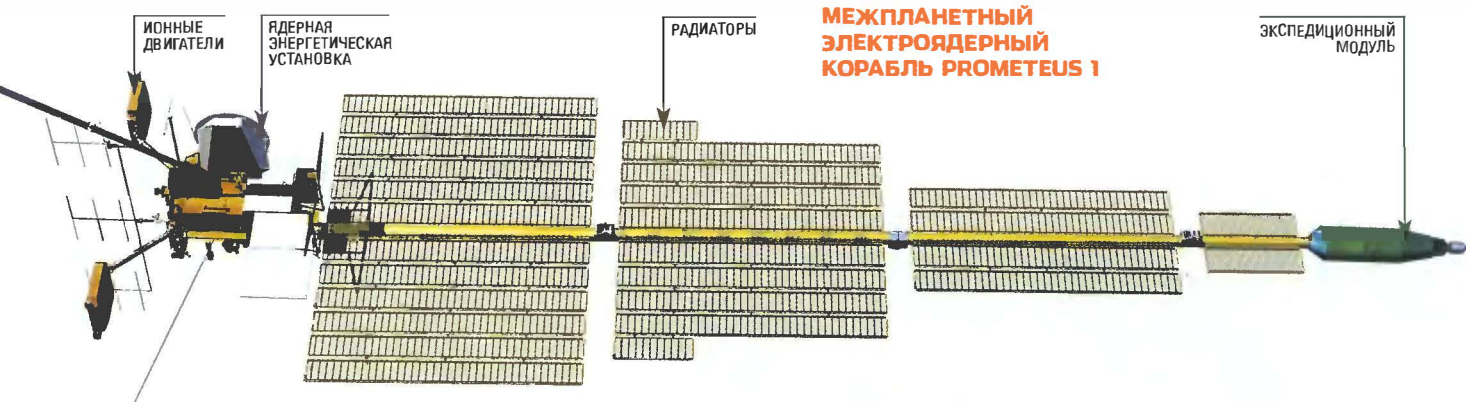
Участники проекта были исполнены такого оптимизма, что всерьез надеялись запустить ядерный корабль к Сатурну не позже 1970 г.

НЕ ДУМАЙ О СЕКУНДАХ СВЫСОКА

Ракетный двигатель создает тягу, выбрасывая в окружающее пространство вещество, которое называют рабочим телом. Из дюж обычных ракет истекают газообразные продукты сгорания топлива. В электроракетном двигателе рабочим телом служит поток плазмы, разогнанной электромагнитными силами. Эффективность ракетного мотора измеряется его удельным импульсом – отношением силы тяги к расходу рабочего тела. Те, кто не забыл школьного курса физики, без труда прикинут, что в системе СИ удельный импульс выражается в м/с. Техники предпочитают иной стандарт. Тягу они измеряют в килограммах силы (кгс), а расход рабочего тела – в килограммах массы (кг) в секунду. В этом случае размерность удельного импульса – это кгс/кг/с, то есть кгс/кг, помноженное на секунду. Однако отношение кгс/кг – величина постоянная, и если ее условно принять за единицу, то удельный импульс будет измеряться просто в секундах. В этом случае показатель приобретает наглядный физический смысл: тяга в килограммах силы, достигаемая при ежесекундном выбросе одного килограмма рабочего тела. Двигатель на водородно-кислородном топливе обладает самым большим удельным импульсом, приблизительно 450 с (именно таков показатель водородно-кислородных моторов американских “шаттлов”). Удельные импульсы всех прочих двигателей на химическом топливе сильно не дотягивают до этого оптимума. Максимальный удельный импульс российских двигателей РД-107 составляет 314 с, двигателей второй ступени американской ракеты “Титан-4” – 316 с, твердотопливных разгонных бустеров евроракеты Ariane-5 – 271 с.

ла проект компактного ЯРД Mitee, который в техническом плане был прямым наследником программы SNAP. Она предложила начинать цилиндрические матрицы высокоактивными расщепляющимися материалами, ураном-233 и америцием-242, и прокачивать сквозь эти трубки жидкий водород. Вычисления показали, что испаряющийся газ, разогретый до 3000–3500°C, будет вылетать из сопел с огромной скоростью. Предполагалось, что ракета Delta или Atlas выведет космический аппарат на 800-км орбиту, после чего можно будет запустить ЯРД и лететь по назначению – например, к Плутону. Конструкторы утверждали, что такой ЯРД можно построить за 6–7 лет всего за \$1 млрд. и что

и в небольшой камере, насытив дейтериево-гелиевую плазму антипротонами. При их аннигиляции должны рождаться ударные волны, которые и дождут плазму до лоуноновского критерия. Антипротоны предполагается хранить в электромагнитной ловушке и закачивать в реактор по мере необходимости. Расчетные характеристики двигателя таковы: ресурс – 22 года, удельный импульс – 61 000 секунд, финальная скорость разгона космического зонда – около 1000 км/с, дальность полета – более 1500 астрономических единиц! К этим фантастическим цифрам остается добавить, пожалуй, только одну: разумный срок перевода этой идеи в металл – не раньше 2050 года.



удельный импульс наиболее продвинутого варианта двигателя составит 1600 с. Но поскольку NASA не проявило достаточного интереса, этот проект существует лишь на бумаге.

NASA вернулось к идее ЯРД в 2003 году. Новый проект назвали Prometheus. На первой стадии его осуществления должны быть получены экспертные оценки возможности создания компактного реактора для питания электроракетных двигателей нового поколения. В пару ему предстоит разработать ионный двигатель Heracles с тягой 60 г при удельном импульсе 7000 с, с ресурсом не меньше, чем 7–10 лет. Связка таких двигателей сможет разгонять исследовательские зонды весом в несколько тонн до 80–90 км/с. Первые отчеты о перспективах создания реактора с нужными рабочими характеристиками должны быть опубликованы в 2006 году.

Антидвигатели для антиракет

Не так давно сотрудники Лаборатории элементарных частиц университета Пенсильвании предложили использовать для ЯРД термоядерный реактор, в котором процесс синтеза гелия запускается с помощью... антивещества! Топливом служит плазма, состоящая из ядер дейтерия и гелия-3 – легкого радиоактивного изотопа гелия. При слиянии таких ядер рождаются протоны и альфа-частицы, которые обладают вполне солидной суммарной кинетической энергией, равной 18,3 МэВ. Для запуска термоядерного синтеза плазме необходимо сжать и нагреть, чтобы выполнить так называемое условие Лоусона. В реакторе ITER эта задача решена с помощью сверхмощных магнитных полей, для создания которых требуется громоздкое оборудование и огромное количество энергии. Тем не менее реакцию можно зажечь



ЭТА ТЕСНАЯ СОЛНЕЧНАЯ СИСТЕМА

Вполне возможно, что с появлением электроядерных кораблей, подобных Prometheus 1, миссии к Юпитеру со временем станут столь же обычными, как сегодня – трансатлантический перелет

А что же Европа и Россия? ЕКА изучает возможности ЯРД лишь теоретически. Этим занимается Группа продвинутых концепций (Advanced Concepts Team), уже три года работающая в рамках исследовательских программ Европейского центра по исследованию космических технологий (European Space Technology Research Center). Эти проработки находятся еще в зачаточной стадии.

А вот Россия продвинулась намного дальше всех остальных. Конструкция российских межпланетных кораблей разработана весьма детально. Что же касается ядерных ракетных двигателей, то это единственная страна, где такой двигатель был реально построен и испытан, а число спутников серии "Космос" с ядерными энергетическими установками перевалило за три десятка. О российских планетолетах и ядерных ракетах читайте в следующем номере.

ИМ

Алексей Левин