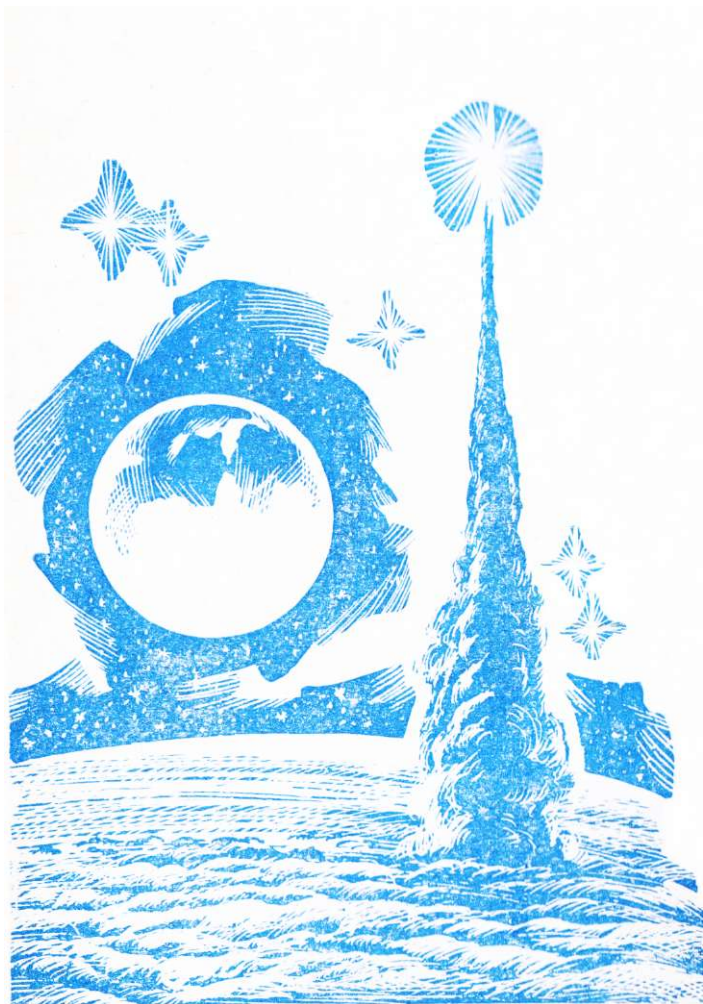




В.П.БУРДАКОВ
Ю.И.ДАНИЛОВ
**РАКЕТЫ
БУДУЩЕГО**



В.П.БУРДАКОВ
Ю.И.ДАНИЛОВ

РАКЕТЫ БУДУЩЕГО



Москва Атомиздат 1980

6Т6
Б91

УДК 629.7(0.23)

Бурдаков В.П., Данилов Ю.И.
Б91 Ракеты будущего. — М.: Атомиздат, 1980. —

160 с., ил.

В книге 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 в книге уделяется физическим принципам, лежащим в основе работы современных ракет, а также принципам, на базе которых можно ожидать создания более эффективных ракет будущего.

30315-130
Б
034(01)-80

БЗ-14-24-1980 • 2304000000

6Т6

Иллюстрации художника
Л. И. Сухорукова

ВВЕДЕНИЕ

Грандиозные успехи космонавтики приковали к ней внимание широких слоев общества практически всех стран и континентов. Космонавтика — это самое прогрессивное оборудование, самые точные станки и инструменты, самые совершенные материалы, самая передовая технология, самые новые достижения науки. Космонавтику, в известном смысле, можно назвать надеждой человечества, так как то, чем сегодня располагает космонавтика, завтра станет нормой обыденной жизни.

А можно ли заглянуть в будущее космонавтики? Можно ли представить, как изменится с годами один из основных ее инструментов — космическая ракета? Этот вопрос интересует людей не только с познавательной, но и с чисто практической целью. Что ждет человечество завтра? Какую роль будут играть ракетная техника и космонавтика в улучшении благосостояния людей? Что необходимо предусмотреть для «... безбоязненного предвидения будущего и смелой практической деятельности, направленной к его осуществлению*»?

Ответить на подобные вопросы можно только зная перспективы развития ракетно-космической техники. Науку, позволяющую предвидеть будущее, называют *прогнозированием*. Прогнозирование бывает краткосрочным и долгосрочным. Для того чтобы разработать прогноз эволюции космической ракеты, необходимо представить ее структуру во всех деталях, определить их связь между собой и с окружающими (внешними) факторами. Затем нужно поставить задачу исследования и определить методы, с помощью которых она может быть решена. Наконец, требуется разработать критерии сравнения, по которым можно будет характеризовать эффективность прогнозируемого объекта.

Обычно краткосрочные прогнозы в ракетной технике касаются улучшения конструкции ракет, совершенствования технологии их производства, применения новых материалов и новых хи-

* В. И. Ленин. Полн. собр. соч. Т. 26, с. 75,

мических топлив, запасаемых на борту ракеты. Таким образом, краткосрочное прогнозирование предусматривает определение более широкого спектра технических характеристик в рамках хорошо известного принципа создания реактивной тяги: бортовые запасы топливных компонентов сгорают в камере двигателя и выделяемая при этом тепловая энергия преобразуется в механическую энергию истечения продуктов сгорания.

Долгосрочное прогнозирование затрагивает практическое использование новых физических принципов, которые могут лежать в основе создания тяговых усилий в ракетах будущего. Для такого прогнозирования необходимо знать возможные достижения физики и техники. В этом случае изучают уже не ракету, а *тяговую систему*, т. е. устройство, предназначенное для доставки *полезного груза* в заданную точку пространства или для сообщения ему определенных параметров. (Полезный груз — это искусственный космический объект, непосредственно предназначенный для выполнения космической задачи.)

Полезный груз, доставляемый в космос современными космическими ракетами, — сложное инженерное сооружение, стоимость которого сравнима или даже превосходит стоимость ракеты-носителя. Проектирование и отработка функционирования полезных грузов, особенно пилотируемых кораблей, представляет собой трудоемкую и технически сложную инженерную проблему. Большие перегрузки и невесомость, сверхнизкие и чрезвычайно высокие температуры, вибрации, космический вакуум, ионизирующее излучение всех видов — вот далеко не полный перечень тех воздействий, которым подвергается полезный груз и при которых он должен сохранять работоспособность. По-видимому, с появлением новых тяговых систем — космических транспортных средств*, которые по аналогии с другими видами транспорта будут многообразными и в известном смысле универсальными, — появится понятие *транспортимый груз***. Современная же космическая

* Например, в США идет работа по созданию системы, названной «Космический челнок» (Space Shuttle), основным элементом которой будет многоразовый космический транспортный корабль.

** Термин *транспортимый груз* аналогичен термину *коммерческий груз* в авиации или на других *фрахтуемых* видах транспорта. В настоящее время в СССР существуют транспортные пилотируемые космические

ракета-носитель — это один из простейших типов тяговых систем, предложенных еще К. Э. Циолковским.

Перечислим основные принципы, характеризующие этот классический тип ракет: вся необходимая для движения энергия запасается на борту ракеты в виде химической энергии *топливных компонентов* или топлива; в качестве отбрасываемой реактивной массы используются продукты сгорания топлива, т. е. вся *реактивная масса* также запасается на борту ракеты; запасенная на борту энергия и реактивная масса однозначно связаны между собой, так как носитель и того и другого один — топливо; потенциальная химическая энергия преобразуется в тепловую посредством реакции окисления, а выделенная тепловая энергия превращается в механическую энергию реактивной струи.

В настоящее время широко изучаются возможности и разрабатываются проекты тяговых систем будущего, в основу работы которых заложены другие, более перспективные принципы: использование внешних, т. е. не запасаемых на борту, ресурсов массы и энергии, применение бортовых аккумуляторов ядерной энергии, получение тягового усилия за счет сил дальнего действия (например, магнитного или электростатического взаимодействия летательного аппарата с внешними полями). Именно такие системы и являются основой долгосрочных прогнозов в ракетно-космической технике.

По сути дела, прогнозы в области ракетной техники и энергетики в настоящее время определяют и прогнозы в развитии человечества. Сейчас все люди мира знают, что созданные в Советском Союзе Первая атомная электростанция и Первый в мире искусственный спутник Земли являются практическим доказательством возможности использования новой техники в мирных целях. Благодаря усилиям Советского Союза, а затем и дру-

корабли «Союз», «Союз-Т» и транспортные беспилотные космические корабли «Прогресс», которые успешно обслуживают длительные экспедиции на орбитальной станции «Салют». Известно, что и в США транспортные пилотируемые корабли «Аполлон» обслуживали орбитальную станцию «Скайлэб». Во всех перечисленных случаях можно было определенную часть доставляемого на орбиту груза назвать транспортируемым, поскольку он *загружался* на Земле и *выгружался* на орбите. Однако доля его была мала, назначение заранее определено, а понятия «фрахта», обычного для транспортных операций, не существовало.

гих стран и ядерная энергетика, и ракетная техника превратились в **необходимый фактор развития человечества.**

Вот почему и энергетика, и ракетная техника будущего вызывают такой огромный интерес во всем мире. По этой же причине на прогнозы в этих развивающихся в тесном контакте областях техники затрачиваются огромные средства, разрабатываются новые сложные методы прогнозирования, привлекается самая современная электронно-вычислительная техника. Результаты прогнозов в развитии энергетики и ракетной техники нередко становятся причиной изменения планов деятельности научных центров, предприятий, а иногда даже определяют политику некоторых государств. Возможна ли в будущем «космическая» война? Реальны ли измышления некоторых буржуазных политических деятелей, журналистов и писателей-фантастов о «физике ужасов» — новых физических открытиях, способных по воле одного маньяка уничтожить все человечество, всю цивилизацию? Как будет развиваться человечество? Каковы перспективы науки и техники? На все эти вопросы* люди хотели бы получить ответ. Но готовый ответ мало кого теперь устраивает. Природа человека такова, что с наибольшим доверием он нередко относится именно к тем выводам, которые сделаны им самостоятельно. Это же относится и к прогнозированию.

Уже не обсуждаются вопросы, можно ли использовать ракеты и новые виды энергетики в мирных целях. Давно доказано, что можно. Проблема теперь заключается в повышении рентабельности ядерной энергетики и космических средств. Рентабельность некоторых космических средств не вызывает сомнения уже сейчас. Прогнозирование погоды с использованием ИСЗ типа «Метеор», космическая телефонная, радио- и телевизионная связь с помощью ИСЗ типа «Молния», «Экран», «Горизонт», космическая разведка земных ресурсов с обитаемых кораблей-спутников и долговременных станций стали для нас уже привычными. В недалеком будущем космическая металлургия, космическое растениеводство, космические электростанции, передающие энергию

* Дополнительно рекомендуем прочитать книгу Б. Г. Кузнецова. Наука в 2000 году. М., «Наука», 1969.

земным потребителям, а также космические транспортные сообщения между материками прочно войдут в нашу жизнь.

Предлагаемая научно-популярная книга преследует очень скромную цель — ознакомить читателей, интересующихся проблемами космонавтики, с возможными путями развития космических тяговых систем, в частности космических ракет. Большое количество писем, полученных после выхода в 1969 году нашей книги* «Физические проблемы космической тяговой энергетики», содержит просьбы о популярном изложении ее содержания для неподготовленного читателя. Это мы и стараемся сделать в данной книге. Разумеется, в книгу включены и некоторые новые материалы, появившиеся в отечественной и зарубежной технической литературе, а также материалы отечественного учебного пособия по космонавтике** и нашей книги, вышедшей в 1976 году***.

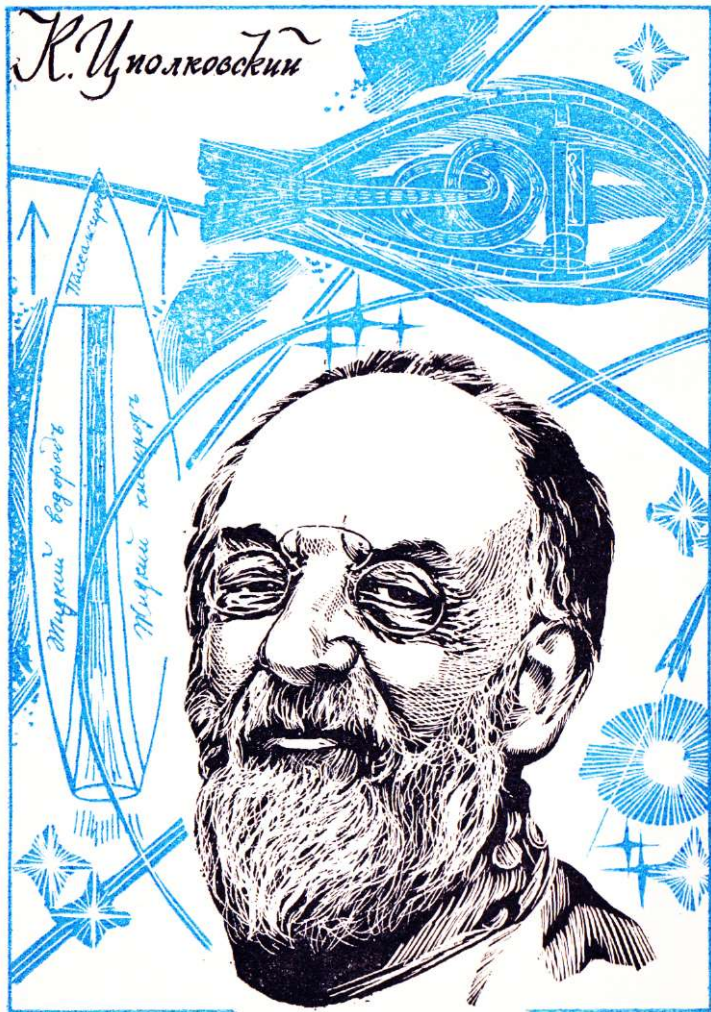
* В. П. Бурдаков, Ю. И. Данилов. Физические проблемы космической тяговой энергетики. М., Атомиздат, 1969.

** В. П. Бурдаков, Ф. Ю. Зигель. Физические основы космонавтики, М., Атомиздат, 1975.

*** В. П. Бурдаков, Ю. И. Данилов. Внешние ресурсы и космонавтика. М., Атомиздат, 1976.



К. Уолковский



1. ЗАЧЕМ ИЗУЧАЮТ И КАК ОСВАИВАЮТ КОСМОС

В 1914 году отдельной брошюрой вышло дополнение к «Исследованию мировых пространств реактивными приборами». Брошюра начиналась следующими словами. К. Э. Циолковского: «Интересующиеся реактивным прибором для заатмосферных путешествий и желающие принять какое-либо участие в моих трудах, продолжить мое дело, сделать ему оценку и вообще двигать его вперед так или иначе, — должны изучить мои труды, которые теперь трудно найти; даже у меня только один экземпляр. Поэтому мне хотелось бы издать в полном виде и с дополнениями «Исследование мировых пространств реактивными приборами». Пусть желающие приобрести эту работу сообщают свои адреса. Если их наберется достаточно, то я сделаю издание с расчетом, чтобы каждый экземпляр (6—7 печатных листов или более 100 страниц) не обошелся дороже рубля. Предупреждаю, что это издание весьма серьезно и будет содержать массу формул, вычислений и таблиц. Для сближения с людьми, сочувствующими моим трудам, сообщаю им мой адрес: Калуга, Коровинская, 61, К. Э. Циолковскому».

Космические исследования в настоящее время стали настолько обыденным делом, а литература по этому вопросу, включающая периодические издания и монографии, статьи и популярные брошюры, так многочисленна, что у неподготовленного читателя может сложиться впечатление о некотором пределе знаний, своего рода насыщении в этой области исследований. Иной читатель может задуматься о том, стоит ли затрачивать столько усилий и материальных средств на их продолжение. Действительно, вслед за каскадом открытий и сенсаций, свидетелями которых мы были в 60-х годах, началась планомерная, можно даже сказать, будничная исследовательская работа, направленная на уточнение уже открытых явлений, обобщение многочисленных данных, разработку новых космических средств. Для новых штурмов космоса может потребоваться принципиально новая техника, в частности,

более мощные, экономичные и универсальные тяговые системы. На создание этих систем уйдут годы напряженного труда, значительные материальные затраты, в работах будут заняты большие коллективы. Не лучше ли все эти усилия и средства направить, например, на расширение работ по освоению мирового океана, на развитие транспорта, сельского хозяйства?

Читателям, думающим таким образом, мы ответим словами великого русского ученого А. Г. Столетова * : «... едва ли есть более поучительная мерка развития человечества, как история наших воззрений на жизнь космоса». Эти слова написаны во времена юности К. Э. Циолковского, которого впоследствии весь мир узнал как **первого теоретика космонавтики**. Все свои труды и всю свою жизнь К. Э. Циолковский — величайший гуманист, талантливейший ученый посвятил лучшему будущему человечества. В настоящее время полностью подтвердились его блистательные прогнозы о неизбежности появления реактивных самолетов, искусственных спутников Земли, о первых робких шагах человека в космос, об овладении ядерной энергией. Именно эти достижения характеризуют XX век. Слова К. Э. Циолковского **: «Человек во что бы то ни стало должен одолеть земную тяжесть и иметь в запасе пространство хотя бы Солнечной системы», — могут стать девизом новых работ в области космонавтики. В их основе, как и в основе любых работ, должны, таким образом, лежать практические нужды человечества. Что же это за нужды? В книге известного американского ученого в области космонавтики Фертрегга *** в главе «Зачем нужны межпланетные путешествия» говорится: «Социологи обеспокоены не только ростом численности населения земного шара, но также и ростом потребления». Иначе говоря, делается намек на то, что человечеству со временем будет тесно на Земле. В отличие от К. Э. Циолковского, который называл землю «колыбелью разума», Фертрегг пишет: «С самого начала Земля являлась своего рода тюрьмой для человека». Меж-

* Л. Г. Столетов. Собр. соч. Т. 2. М.—Л. Гостехиздат, 1941, с. 201.

** К. Э. Циолковский. Цели звездоплавания. Сб. статей Ред.-изд. отдел Аэрофлота. М., 1939, с. 89.

»*** М. Фертрегг. Основы космонавтики. М., «Просвещение», 1969.

планетные путешествия ученый именует «избавлением от притяжения Земли в прямом и переносном смысле».

С этими утверждениями вряд ли кто из советских читателей может согласиться, ибо космонавтика преследует прежде всего сугубо «земные» цели. Она эффективно решает прежде всего проблемы сегодняшнего дня *, хотя перспективы ее безграничны.

В настоящее время укоренилось два термина: *исследование космоса* и *освоение космоса*, которые обозначают две стороны развития современной космонавтики, определяя состав и основные характеристики выводимых в космос полезных грузов.

Рассмотрим сначала цели и задачи исследования космоса. Эта работа была начата еще в глубокой древности. Древние греки Мир, или Вселенную, называли Космос, что в буквальном переводе означает порядок. Современный космос включает все пространство Вселенной, в том числе Землю, околоземное и межпланетное пространство. Таким образом, термин *космонавтика* более правильно отражает суть дела, нежели термин *астронавтика*, принятый в США и являющийся производным от греческого слова *астра* — звезда.

Задачи исследования космоса весьма многочисленны, но их можно разбить на четыре характерные группы: расширение наших представлений о природе; изучение условий эксплуатации космических систем; практическое использование ресурсов космоса и факторов космического полета; использование космоса в качестве полигона для испытаний технических сооружений.

Рассмотрим эти задачи более подробно.

Космос — это уникальная природная лаборатория, позволяющая человечеству познавать окружающий мир, овладевать с пользой для себя его законами. Вспомним, что именно космические наблюдения позволили Галилею, Кеплеру, Ньютону сформулировать законы механики, а Эйнштейну — законы теории относительности. Благодаря изучению космического излучения была открыта такая элементарная частица как позитрон, а также установлены физические законы взаимодействия частиц при сверхвысоких энер-

* А. Д. Коваль, Г. Р. Успенский, В. П. Яснов. Космос человеку. М., «Машиностроение», 1971.

гиях, значительно превышающих энергии, сообщаемые частицам в гигантских ускорителях.

Широк и многообразен арсенал научно-технических средств для изучения космоса. Практически все обширные знания о нем, накопленные человечеством к настоящему времени, были получены с помощью астрономических исследований, проводимых с Земли. Начало этим исследованиям положил Галилей в 1610 г. Направив изобретенную им «зрительную трубу» на небо, Галилей открыл дискретную структуру Млечного Пути, спутники Юпитера, причудливый рельеф Луны — одним словом, произвел переворот в существовавших тогда представлениях о космосе. Свои открытия великий итальянский ученый описал в знаменитом «Звездном вестнике», с которого и начались планомерные исследования. Сначала наблюдения, затем их систематизация, после чего осмысливание и рождение гипотез, и, наконец, по мере их подтверждения другими наблюдениями, возникновение строгих теорий строения Мира — вот путь, по которому до недавнего времени развивалась астрономия. В настоящее время теория «идет в ногу» с экспериментом, с наблюдениями. Теперь уже наблюдения зачастую выполняются по заказам теоретиков-астрофизиков. Ведутся, например, интенсивные поиски «черных дыр» — сколлапсировавшихся, т. е. мгновенно сжавшихся под воздействием мощного собственного гравитационного поля неустойчивых сверхгигантских звезд. Расширяются работы по обнаружению внеземных цивилизаций. Планируются сложнейшие эксперименты по отысканию в космических лучах гипотетических мельчайших частиц мироздания — кварков, имеющих дробный электрический заряд.

Наряду с этим продолжают и обычные астрономические наблюдения. Внушительные потомки изобретенного Галилеем и усовершенствованного М. В. Ломоносовым *телескопа-рефрактора*, изобретенного И. Ньютоном отражательного *телескопа-рефлектора*, *телескоп* Шмидта, *менисковый телескоп* Д. Максудова в сочетании со *спектрографами*, *интерферометрами*, *фоторезисторами*, *фотоумножителями* и многими другими современными приборами и устройствами стали неотъемлемой принадлежностью любой значительной астрофизической обсерватории. Все эти приборы получают информацию из космоса в оптическом диапазоне электромаг-

нитного излучения, иначе говоря, в видимом свете. Дальность их действия составляет примерно 5 млрд. световых лет*.

В два раза большую дальность приема информации из космоса обеспечивают *радиотелескопы*, разрешающая способность** которых может быть увеличена, как и для оптических телескопов, посредством применения интерференционных систем (сдвоенных радиотелескопов).

Советский Союз имеет самые крупные в мире инструменты — отражательный телескоп БТА с диаметром зеркала 6 м и радиотелескоп РАТАН-600, антенна которого выполнена в виде кольца диаметром 600 м.

С развитием космонавтики все традиционные астрофизические приборы получили возможность быть вынесенными за пределы земной атмосферы. Кроме того, стало возможным применять совершенно новые виды астрофизической аппаратуры, принимающей информацию в диапазоне малых длин волн (ультрафиолетовых, рентгеновских и γ -лучей), поскольку в космосе нет экранирующего влияния земной атмосферы. Так называемая *внеатмосферная астрономия*, которая раньше использовала для подъема аппаратуры воздушные шары и аэростаты, получила прочную экспериментальную базу в виде космических кораблей и орбитальных станций.

Исследование физики космического пространства необходимо не только астрофизикам, но и создателям космических аппаратов. С какими космическими массами может взаимодействовать летательный аппарат, каковы энергетические ресурсы космоса, какие виды поля (гравитационного, магнитного, электрического) характерны для различных участков Вселенной — все эти данные могут существенно повлиять на облик и конструкцию будущих космических аппаратов. Пока что все космические аппараты проходят экспериментальную отработку в земных лабораториях. Построены огромные барокамеры, в которых создается космический вакуум. В некоторых барокамерах имитируются воздействующие на испытываемый объект солнечное излучение, корпускулярные и

* Один световой год равен $9,46 \cdot 10^{12}$ км.

** Величина, пропорциональная отношению длины падающего излучения к диаметру объектива или приемной антенны,

тепловые потоки. Ставится вопрос о создании барокамер, устанавливаемых на летающих лабораториях невесомости (невесомость возникает при выполнении самолетом так называемой «горки Кеплера»). Очевидно, что для правильной имитации условий космического пространства необходимо хорошо знать эти условия, изучать их всеми имеющимися средствами.

Практическое использование ресурсов космоса уже сейчас можно наблюдать в земных теплоэнергосистемах (использование солнечной энергии), а тем более в космических (применение солнечной энергии для получения электрической энергии, для ориентации объектов; при этом используется как тепловая энергия для нагрева рабочего тела двигателей, так и непосредственное давление солнечных лучей* на специально подготовленные поверхности; использование гравитационных полей планет для изменения траекторий движения искусственных небесных тел и их ориентации, использование для ориентации околоземного магнитного поля). В дальнейшем предполагается широкое использование не только энергетических, но и массовых ресурсов космического пространства в сочетании с факторами космического полета, причем уже сейчас представляется, что эти ресурсы могут быть нужны не только для получения тягового усилия в новых космических тяговых системах, не только для восстановления космических объектов или для их совершенствования в процессе сверхдлительных межзвездных перелетов, но и как сырье для организуемых в космосе высокоэффективных технологических и энергетических процессов. Космонавтика сегодняшнего дня делает в этом направлении только первые шаги. Рентабельность космонавтики еще не стала основным аргументом необходимости ее широкого развития. О рентабельности исследования космоса сегодня можно говорить с таким же «успехом», как и о рентабельности исследований Антарктиды или Мирового океана. Целесообразность ассигнований на нужды космонавтики вызвана в настоящее время такой же примерно необходимостью, как и целесообразность ассигнования на решение ряда проблем здравоохранения, на образование, на

* Известно, например, что американский спутник «Эхо», выполненный в виде тонкой оболочки и заполненный газом, изменял под действием давления солнечных лучей свою траекторию.

нужды культуры и науки. Во всех этих случаях непосвященному человеку видны только первоначальные затраты, особенно если они весьма значительны. Конечный же результат, во-первых, отдален по времени, а во-вторых, не имеет зачастую четкой формулировки, кроме очевидного, но для многих весьма неубедительного тезиса: «ведет к прогрессу человечества, ведет к прогрессу его фундаментальных знаний».

«Мы прекрасно знаем, что полноводный поток научно-технического прогресса иссякнет, если его не будут постоянно питать фундаментальные исследования», — сказал в отчетном докладе XXV съезду КПСС Генеральный секретарь ЦК КПСС Л. И. Брежнев.

В речи президента Академии наук СССР А. П. Александрова на XXV съезде партии по этому поводу сказано: «Именно прогресс фундаментальных знаний изменяет, казалось бы, установившиеся и незыблемые в науке точки зрения, открывает новые области в науке и технике, коренным образом меняет технологию, приводит к появлению новых материалов и открывает возможности совершенно новых, часто неожиданных явлений в областях, совершенно не имевших никакого отношения к первоначальной области исследования».

Развитие мировой космонавтики как нельзя лучше подтверждает эти слова. Неисчерпаемы ресурсы космоса и факторы космических полетов — безграничное пространство, невесомость, вакуум и вместе с тем наличие самых разнообразных физических условий, огромные запасы энергии и вещества, наличие полного спектра химических элементов и многих веществ, многообразие проявлений поля и, наконец, предполагаемое наличие в глубинах космоса разумных существ. Большинство фундаментальных физических, химических, биологических и других исследований, проводимых институтами Академии наук СССР, по сути дела, базируются либо на воссоздании тех или иных космических условий в земных лабораториях (гигантские ускорители частиц, термоядерная установка «Токамак-10»* и т. п.), либо на информации, полу-

* Название установки образовано из слов *ток*, *камера*, *магнитные катушки*.

ченной из глубин космоса (с помощью радиотелескопов, оптических телескопов и т. п.). Таким образом, исследование космоса — это фундаментальное научное направление, а освоение ресурсов космоса и факторов космического полета — насущная задача человечества не только в будущем, но и в настоящее время.

Использование космоса в качестве полигона для испытаний технических сооружений и систем опять-таки связано с тем, что в земных условиях трудно подчас создать условия, необходимые для ряда технологических и энергетических процессов. (Так, создание в больших объемах высокого вакуума связано с необходимостью применять сложные откачивающие системы, а сам процесс откачки газа занимает несколько дней. В космических же условиях подобной проблемы не существует.)

Цели, задачи и проблемы освоения космоса, т. е. проникновения человека или продуктов его созидательного труда в космическую среду, весьма многообразны. Необходимость и возможность освоения космоса человеком обосновал основоположник космонавтики К. Э. Циолковский, который считал, что проникновение в космос — это следствие диалектического закона природы: неизбежность неуклонного распространения наиболее жизнеспособных и биологически устойчивых организмов, т. е. людей, способных преобразовывать природу наиболее целесообразным образом.

Вся жизнь К. Э. Циолковского, до самозабвения преданного своим идеям, была отдана разработке полезных для человечества научно-технических, социальных, философских и других идей и проблем. Неся тяжелые личные утраты, испытывая материальные лишения, практически до самой смерти не понятый многими довольно прогрессивными и видными учеными, К. Э. Циолковский изо дня в день все глубже проникал в совершенно неизвестную область человеческих знаний — космонавтику. Он же впервые в мире сформулировал и основные задачи освоения космоса:

- освоение околоземного пространства;
- освоение ближайшего небесного тела — Луны;
- освоение планет Солнечной системы или их спутников;
- освоение Солнечной системы.

Можно перечислить и более отдаленные задачи:

- полеты к звездам;

встреча с другими цивилизациями;

освоение нашей Галактики;

освоение других галактик. Эти задачи в наши дни уже не выглядят фантастическими и над ними уже сейчас думают ученые всех стран мира. В настоящее время нет нужды обосновывать важность выполнения первых трех задач. Успехи, которые уже достигнуты отечественной и мировой космонавтикой, красноречиво говорят сами за себя. Полеты на околоземные орбиты, доставка на Землю образцов лунного грунта, получение сведений о Марсе и Венере с помощью спускаемых аппаратов представляются сейчас если не будничными делами, то уж во всяком случае не сверхсенсационными (каким, например, считали полет Ю. А. Гагарина в 1961 году). Следует только отметить, что потребности в более широком освоении околоземного пространства приводят к необходимости создавать средства для эффективных, надежных и регулярных транспортных сообщений между Землей и орбитальным кораблем. В частности, должна быть организована бесперебойная связь с космическим производством: подвоз сырья и полуфабрикатов, доставка на Землю продуктов космического производства, транспортировка рабочих, приборов, оборудования и т. п.

Об остальных задачах освоения космоса следует сказать несколько подробнее.

Освоение Солнечной системы будет, очевидно, заключаться не только в освоении планет и их спутников, но и в расселении человечества (по словам К. Э. Циолковского) в «эфирном пространстве».

Полеты к звездам — дело будущего, если говорить о полете человека. Автоматические летательные аппараты могут быть отправлены к ближайшим звездам уже в XX веке. Вероятнее всего, как это случилось с первой высадкой людей на Луну, полеты к звездам начнутся задолго до того, как это будет продиктовано практической необходимостью развития человечества. Естественно, что первые межзвездные полеты будут носить сугубо исследовательский характер.

Встреча с другими цивилизациями — это самостоятельная задача не только космонавтики, но и астрономии,

астрофизики, биологии и т. п. Определение физических условий, при которых возможна жизнь вообще, определение условий возникновения разумной жизни и возникновения цивилизаций, выяснение закономерностей развития цивилизаций в космических масштабах — всеми этими вопросами современная наука занимается довольно много. Изучаются также проблемы поиска внеземных цивилизаций *. К сожалению, в настоящее время пока не обнаружены даже признаки таких цивилизаций, однако предполагается, что в нашей Галактике должно существовать кроме нас еще две-три «космических», т. е. стоящих на высоком уровне технического развития общества, цивилизации. Многие же ученые считают в настоящее время, что жизнь в космосе — это, скорее, правило, чем исключение.

Освоение нашей Галактики станет возможным, по-видимому, только после того, как удастся установить связь с другими высокоразвитыми цивилизациями.

Освоение других галактик — проблема, которую пока не берутся затрагивать даже писатели-фантасты. А между тем вопрос требует изучения, так как он поднимает проблемы, связанные с необходимостью возникновения, «предназначением» и возможностью дальнейшего совершенствования человечества. Это также вопрос о масштабах направленного воздействия человечества на природу. Уже сейчас можно назвать работы (в основном, философского характера), авторы которых пытаются ответить на подобные вопросы. Вот, например, как осторожно, в форме вопроса излагает свою мысль Г. Ф. Хильми**: «Быть может, высшим формам жизни суждено, активно расширяя и закрепляя область своего распространения, стать организатором Вселенной» А. Д. Урсул и Ю. А. Школенко *** ограничиваются, по сути дела, лишь критикой взглядов буржуазных философов на проблемы «космической философии», противопоставляя им утверждение: «. для скорейшего продолжения этого своеобразного кризиса «космического сознания» требуется активная работа философов-

* Проблема СЕТИ (связь с внеземными цивилизациями). Сб. переводов. М., «Мир», 1975.

** Г. Ф. Хильми. Основы физики биосферы. Л., Гидрометеониздат, 1966.

*** А. Д. Урсул, Ю. А. Школенко. Человек и космос. М., Политиздат, 1976.

марксистов...». Наша точка зрения заключается в том, что жизненные процессы препятствуют возрастанию энтропии тех объемов пространства, которые находятся под контролем разума. Следовательно, признаки разума следует искать в упорядоченных космических явлениях или в явлениях, не подчиняющихся обычным вероятностным представлениям, вытекающим из известных физических законов. Мысль о том, что термодинамическая функция *энтропия*, выраженная в обобщенном и безразмерном виде, помогает изучать информационно-мыслительные процессы, принадлежит В. Шеннону и Н. И. Кобозеву*. Нам хотелось бы думать, что в более общем виде с помощью обобщенной безразмерной энтропии** станет возможным изучать и информационно-мыслительно-созидательные процессы***.

В заключение раздела о целях и задачах космонавтики целесообразно сказать несколько слов о темпах ее развития.

В 1957 году был запущен первый в мире ИСЗ, а 12 апреля 1961 года совершил свой исторический полет Ю. А. Гагарин. Вскоре после этого события по решению президента Д. Кеннеди и конгресса США были выделены на осуществление названной в пропагандистских целях «национальной программы» — высадки американцев на Луну (проект «Сатурн-5 — Аполлон») — огромные ассигнования, составляющие 25 млрд. долларов. Над проектом и доводкой системы в течение 15 лет трудилось более 250 тыс. инженеров и рабочих. В работе принимало участие около 2000 больших и малых предприятий США. В процессе выполнения этой работы были решены многочисленные технические, организационные, административные, психологические, научные, политические и другие проблемы. И вот, наконец, в июне 1969 года первый человек Земли Н. Армстронг ступил на поверхность другого небесного тела, ознаменовав тем самым еще один шаг в покорении космического пространства, подтвердив беспредельные возможности

* Н. И. Кобозев. Исследование в области термодинамики процессов информации и мышления. М., Изд. МГУ, 1971.

** Энтропия — термодинамическая функция, характеризующая меру неопределенности энергетического или информационного состояния системы. При переходе системы к более вероятному (равновесному) состоянию ее энтропия увеличивается.

*** В. П. Бурдаков, Ф. Ю. Зигель. Физические основы космонавтики. М., Атомиздат, 1975.

технического прогресса человечества. Противники освоения космоса продолжали по-прежнему считать, что затраты по сравнению с полученными результатами слишком велики: каждая секунда пребывания на Луне экипажа «Аполлона-12» стоила 30 тыс. долларов, каждый килограмм лунного грунта, доставленного на Землю, стоил 1 млрд долларов. Большое распространение получила фраза крупнейшего физика М. Борна: «... путешествие в космическое пространство является не только триумфом человеческой мысли, но и трагическим поражением рассудка», — а также высказывание американского социолога Эгциони: «...Космос дает концентрацию искусственной сенсации и развлечения: три человека исследуют Луну, а сотни тысяч наблюдают за их подвигом, ограничивая свои усилия прокручиванием ручек телевизоров». Подобные взгляды устраивали политиков и бизнесменов США. «Экономические» расчеты были явно не в пользу космонавтики. Сенсации гангстеризма, Голливуда и порнографии — эти испытанные спутники бизнеса кое-кому казались намного привлекательнее и «экономичнее» космических достижений, которые только в силу культурной ограниченности можно было приравнять к сенсации в общепринятом для капитализма смысле.

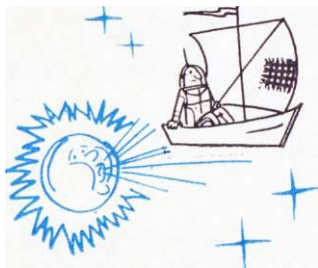
Постепенное планомерное развитие космонавтики в Советском Союзе, несомненные успехи астронавтики США, деятельность других стран в этом же направлении позволили накопить важный экспериментальный материал и однозначно установить несомненные **преимущества и рентабельность** космонавтики. Оказалось, что по самым скромным расчетам, проведенным в США*, съемки панорамы земной поверхности из космоса в 5—10 раз дешевле аэрофотосъемки. Применение метеоспутников (серии «Метеор», «Тирос», «Нимбус», «Эсса») более чем на порядок увеличило эффективность службы погоды, которая до этого велась метеорологическими пунктами (их общее количество в мире составляет около 10 тыс., что очень мало). Постепенно стало очевидным, что в некоторых областях, таких как геодезия, связь, навигация, океанография, метеорология, астрономия, гидрология, геология, лесное

* Ф. Боно, К. Гатланд. Перспективы освоения космоса. М., «Машиностроение», 1975.

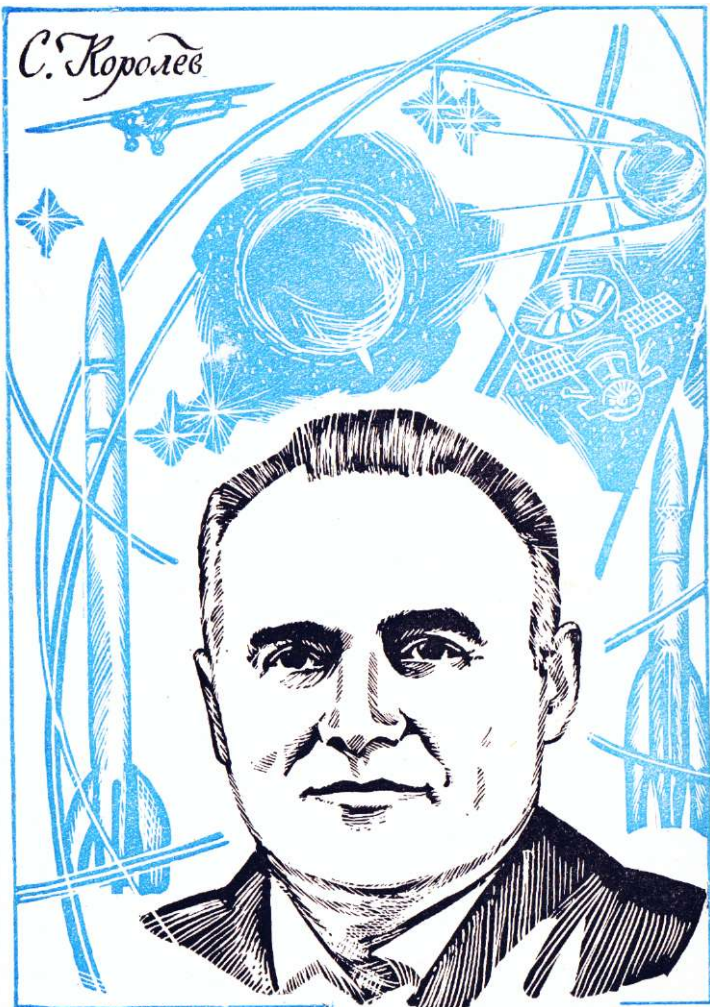
хозяйство, сельское хозяйство, рыбное хозяйство и т. п., космические средства не только рентабельны, но в ряде случаев и незаменимы*.

Начался новый мощный подъем развития космической техники, который прежде всего коснулся основы космонавтики — ракеты. Ведь именно возможности космической ракеты определяют массу полезного груза, высоту орбиты, на которую его можно вывести, наклонение и форму этой орбиты.

* А. Д. Коваль, г. Р. Успенский, В. П. Яснов. Космос человеку. М., «Машиностроение», 1971.



С. Королев



2. НА ПУТИ К КОСМИЧЕСКОЙ РАКЕТЕ

Цель нашей книги — рассказать о ракетах будущего. А что такое вообще ракета? Какова ее история? Ведь не зная истории возникновения космической ракеты, нельзя предсказать и ее будущее.

Поэтому начнем с истории.

Первые упоминания о ракетах встречаются в древнекитайских летописях, в древней индийской и греческой литературе, а также в древнерусских летописях. Существуют сведения об открытии в Москве в 1680 году «Ракетного заведения». Первый фундаментальный труд «О боевых ракетах», принадлежащий перу К. И. Константинова, крупного военного специалиста, вышел в 1861 году. Проекты первых отечественных ракет на бездымном порохе были разработаны Н. И. Тихомировым в 1894 году. Но история космических ракет тогда еще не началась. Разумеется, и боевые ракеты, и фейерверки влияли на развитие человеческой фантазии. В известных описаниях путешествий на Луну французский писатель Сирано де Бержерак упоминает и ракету. Ракеты как аппараты для полета фигурируют во многих литературных произведениях фантастического жанра. Однако наряду с ракетами упоминаются и другие средства: у Сирано де Бержерака обсуждается полет на лебедях; Жюль Верн предпочитает пушечное ядро; Г. Уэльс — новый материал «кэйворит», экранирующий тяготение, и т. д.

История космической ракетной техники и космонавтики знает немало славных имен, в их числе великий русский ученый К. Э. Циолковский, который в 1883 году высказал мысль о возможности использования реактивного движения для создания межпланетных летательных аппаратов. В XIX веке практически* один только он подошел к мысли о возможности использования

* В 1893 году немецкий изобретатель Гансвиндт, а в 1896 году русский изобретатель А. П. Федоров также предложили ракетные летательные аппараты для безвоздушного пространства.

ракеты как космического летательного аппарата, жизненно необходимого для будущего развития человечества.

Многие зарубежные исторические исследования рассматривают историю космонавтики и историю ракетной техники как единое целое. Тем самым допускается, зачастую преднамеренно, путаница в оценке одного из самых прогрессивных и широких в научном, социальном и техническом отношении устремлений разума — космонавтики — и сугубо военно-технического, частного, ограниченного рамками одного или нескольких государств направления — ракетной техники. Вот, например, как характеризует свою роль в развитии космонавтики известный немецкий специалист Г. Оберт *: «Через 14 дней у меня было готово щелевое сопло, а еще через 7 дней можно было испытывать коническое сопло (Kegelduse). Таким образом, дверь в космос была распахнута». Иначе говоря, достижения в ракетостроении приравниваются у Г. Оберта к достижениям космонавтики. Заметим также, что многие зарубежные исследователи создание в фашистской Германии ракеты «Фау-2» рассматривают как одну из важных вех в развитии космонавтики. Тот же Г. Оберт говорил: «У меня имеется и другой важный вклад в астронавтику: свои эксперименты я проводил при помощи студентов Берлинского политехнического института, среди них был Вернер фон Браун, который затем сделал космический полет реальностью». Это уже прямая фальсификация. От ракеты «Фау-2» до первого космического полета, как говорится, «дистанция огромного размера», и космические полеты, которые сделались реальностью только после беспримерного подвига Ю. Гагарина, имели свою собственную предысторию, связанную с развитием космонавтики в СССР. Важной вехой на этом пути был запуск 4 октября 1957 года Первого ИСЗ.

Вывод о роли ракеты с бортовыми запасами энергии и реактивной массы как единственно возможного вида космического транспорта нередко приписывают основоположнику космонавтики К. Э. Циолковскому. «Он доказал, что только ракетные двигатели могут работать и разгонять летательный аппарат вне земной атмо-

* Г. Оберт. Мои работы по астронавтике. — В кн.: Из истории астронавтики и ракетной техники. М., «Наука», 1970.

сферы» — так, например, пишет известный популяризатор космонавтики М. Г. Крошкин *. Действительно, К. Э. Циолковский, известный в настоящее время как первый теоретик космонавтики, очень много сделал для всесторонней, или, как сейчас говорят, системотехнической разработки теории космической ракеты. Но для космических полетов предлагались и другие идеи и проекты гипотетических аппаратов. Основоположник инженерной космонавтики, один из последователей К. Э. Циолковского, русский инженер Ф. А. Цандер предложил, например, вместо ракетных двигателей применять другие варианты тяговых устройств, использующих, в частности, внешние ресурсы массы и энергии [солнечный парус, силы электромагнитного притяжения и отталкивания, крылатые аппараты для первого, атмосферного участка космического полета, воздушно-реактивные двигатели (ВРД)].

Основоположник отечественного космического двигателестроения (ныне академик) В. П. Глушко предложил в 1928 году проект межпланетного космического корабля «Гелиоракетоплан», использующего для движения бортовые запасы массы и внешний источник энергии (Солнце).

Основоположник практической космонавтики — академик С. П. Королев. Он наиболее полно осуществил на практике системотехнический подход к проблеме космических полетов, заложенный в теориях К. Э. Циолковского. Специалист-системотехник, лично убежденный в необходимости создания системы, должен хорошо ориентироваться в административных проблемах, а также обладать энциклопедическими знаниями и интуицией в своей и смежных областях науки и техники.

Главный Конструктор первых в мире космических объектов и космических ракет в достаточной мере обладал всеми этими качествами. Программа работ группы изучения реактивного движения (знаменитого ГИРДа), которой с 1932 года руководил С. П. Королев, включала разработку жидкостных ракетных двигателей (ЖРД), планеров с ЖРД, баллистических и крылатых ракет, систем управления и ориентации, автоматики, ВРД. Эта программа предусматривала подготовку будущих инженеров-ра-

* М. Г. Крошкин. Человек проникает в Космос, М., Воениздат, 1961.

кетчиков, а также будущих пилотов для летательных аппаратов с реактивной тягой.

Последнее обстоятельство и стало одной из причин создания ракетопланов. 28 февраля 1940 года был осуществлен первый полет ракетопланера конструкции С. П. Королева. Пилотировал машину В. П. Федоров. Затем последовали знаменитые полеты Г. Я. Бахчиванджи на самолете БИ-1 конструкции А. Я. Березняка и А. И. Исаева, созданном в КБ В. Ф. Болховитинова, снабженном ракетным двигателем *. Шел тяжелый для нашей Родины 1942 год — второй год войны. Советские инженеры, не жалея сил, работали в труднейших условиях, делали все возможное, чтобы помочь фронту. В то время под руководством В. П. Глушко в ГДЛ-ОКБ создавались ракетные ускорители для тяжелых самолетов. Вместе с ним работал тогда С. П. Королев. Он руководил летными испытаниями. Иначе говоря, опять решал сложнейшие проблемы ракетного полета человека.

С. П. Королев (1906—1966 г.) был выдающимся советским ученым и организатором науки и техники. Он родился в г. Житомире в семье учителя. С 1927 года работает в авиационной промышленности, оканчивает в 1930 году Московское высшее техническое училище им. Н. Э. Баумана, успешно защищает дипломный проект, который он выполнил под руководством выдающегося советского авиаконструктора А. Н. Туполева. Много работает, добивается постройки и проведения испытаний планеров и легкомоторного самолета — своего дипломного задания. В это же время С. П. Королев заканчивает московскую школу летчиков, знакомится с трудами К. Э. Циолковского, встречается с Ф. А. Цандером, участвует совместно с ним в организации Московской группы изучения реактивного движения (МосГИРД). В 1932 году он организует вместе с другими специалистами знаменитый ГИРД. Работая затем начальником ГИРДа, С. П. Королев все силы, талант и организаторские способности отдает этому совершенно новому и неизвестному делу. Уже в 1933 году была запущена первая советская жидкостная ракета «ГИРД-Х». В конце 1933 года

* В США аналогичные полеты ракетных самолетов были впервые осуществлены в 1943 году.

в результате слияния ГИРДа и Газодинамической лаборатории (ГДЛ) был организован Реактивный научно-исследовательский институт (РНИИ), в котором С. П. Королев работает заместителем директора по научной части, а с января 1934 года — руководителем отдела ракетных летательных аппаратов. В этом же 1934 году издается его книга «Ракетный полет в стратосфере». Огромные усилия он затрачивает на практическое создание образцов новой техники, в числе которых успешно испытанные крылатая ракета 212, ракетопланер РП-318. В тяжелые военные годы все силы и все время уходило на совершенствование и летные испытания ракетных жидкостных ускорителей для боевых советских самолетов. После войны по инициативе ряда капиталистических государств начинается разработка и оснащение армий новым оружием — боевыми ракетами дальнего радиуса действия. Большое количество ведущих специалистов и трофейной техники из немецкого ракетного центра «Пеенемюнде», где создавалась ракета «Фау-2», оказались в США.

Советский Союз, вынесший на своих плечах основное бремя самой страшной и разрушительной в истории человечества войны, потерявший 20 миллионов жизней, вынужденный восстанавливать разрушенное войной хозяйство, не мог в то же время и пренебрегать своей обороноспособностью.

Создавать невиданную доселе технику предстояло своими силами, и вот 9 августа 1946 года С. П. Королева назначают Главным Конструктором отдела НИИ, где и начинают проектироваться мощные баллистические ракеты. Непостижимо, но уже в следующем, 1947 году в период с 17 октября по 2 ноября было произведено 11 запусков таких ракет*. А в 1949 году в СССР были начаты планомерные исследования верхних слоев атмосферы ракетами Р1А.

Примерно в это же время, намного раньше ученых и конструкторов всех стран (в том числе и США), С. П. Королев, приступая к проектированию новой межконтинентальной баллистической ракеты, предупреждал своих сотрудников, что эта ракета должна

* П. Т. Астапенков. Академик С. П. Королев. М., «Машиностроение», 1969.

проектироваться особым образом, так как **на ней будут летать люди.**

Первое «космическое» испытание новой баллистической ракеты — вывод на околоземную орбиту первого в истории человечества ИСЗ. Испытание, проведенное 4 октября 1957 года, выдержано успешно. Многие тогда считали, что первый ИСЗ, названный С. П. Королевым Простейшим спутником*, выполняет самостоятельную функцию. По-другому думал С. П. Королев, который вел планомерную подготовку полета человека в космос: сферическая форма спутника не была случайной** — она наиболее соответствовала его замыслам о форме *спускаемого аппарата*, а также позволяла по торможению спутника в верхних слоях атмосферы определить параметры самой атмосферы, так как аэродинамические коэффициенты сферического тела были известны довольно хорошо.

Второй ИСЗ с животным на борту выяснял главным образом биологические возможности*** космического полета, а третий спутник — физическую обстановку в космосе.

И наконец, после многочисленных земных и космических экспериментов наступило 12 апреля 1961 года — день первого в мире космического полета человека Ю. А. Гагарина — гражданина Страны Советов.

Космическая ракета, т. е. реактивный летательный аппарат, предназначенный для полета человека в космос, была создана и выдержала свой главный экзамен. День 12 апреля теперь считают Днем рождения *космонавтики* — совершенно нового этапа человеческой деятельности, направленного на решение совокупности технических, медико-биологических, организационных, научных,

* С. П. Королев называл его сокращенно ПС.

** В процессе проектирования ПС предлагались и другие геометрические формы, которые были даже удобнее с точки зрения размещения аппаратуры.

*** Принципиальные возможности полета человека в космос С. П. Королев изучал начиная с 30-х годов. В этой цепи — практические работы по отработке полета людей на аппаратах, снабженных ракетными двигателями, эксперименты по пребыванию экипажа из двух человек в замкнутом пространстве специальной камеры, биологические эксперименты на «академических» ракетах: подъем собак на высоты до 500 км, а также отстрел от разгоняющейся ракеты капсул с собаками и их спуск на парашютах — имитация системы аварийного спасения.

юридических и многих других мероприятий и проблем, связанных с освоением космического пространства. Современная космонавтика требует не только тесного взаимодействия многих министерств и ведомств внутри одной страны, но и широкого сотрудничества многих государств.*

Материальную основу космонавтики условно можно разделить на три части: *экспериментально-производственную* (орудия и средства производства, экспериментальные изделия), принадлежащую проблемным лабораториям Академии наук СССР, отраслевым НИИ, ОКБ, опытным и серийным заводам, научно-испытательным институтам; *главную* (космические комплексы); *обслуживающую* (центр подготовки космонавтов, координационно-вычислительный центр, командный комплекс, пункты наблюдения, связи и т. п.).

Главная часть, или ракетно-космический комплекс, состоит из основной и вспомогательной систем. Основная система — это летательный аппарат или космическая ракета. Вспомогательная система представляет собой сложную совокупность оборудования и сооружений технической и стартовой позиций (монтажно-испытательный корпус, контрольно-измерительная станция, подъемно-транспортные агрегаты, заправочные станции и прочие объекты), наземных сооружений радиоконцентра, сооружений и плавательных средств поисково-спасательного комплекса и т. п.

Наша задача заключается в том, чтобы подробно рассмотреть основную систему — летательный аппарат, т. е. космическую ракету.

Космическая ракета отличается от таких хорошо известных летательных аппаратов, как самолет, последовательной работой отдельных блоков, а также тем, что реактивная масса и энергия сосредоточены на борту и не заимствуются из окружающей среды, аэродинамическое качество не реализуется, а конструкция рассчитана только на однократное использование. Эти, казалось бы, яв-

* Широко известны совместные полеты первых международных экипажей космонавтов социалистических стран на орбитальную станцию «Салют-6». У всех в памяти советско-американский эксперимент «Союз—Аполлон». Программы международного сотрудничества в космосе расширяются с каждым годом (см. книгу: Орбиты сотрудничества. Под ред. акад. Б. Н. Петрова. М., «Машиностроение», 1975).

но отрицательные качества ракеты дают возможность получить главный результат — достигнуть космической скорости полета (т. е. 8000 м/с), необходимой для выведения полезного груза на орбиту ИСЗ. Как когда-то основная задача авиации состояла лишь в том, чтобы оторваться от Земли, продержаться в воздухе в состоянии полета, так и первая задача космонавтики состояла в том, чтобы вывести на замкнутую околоземную орбиту искусственное тело. Совершенствование как авиации, так и ракетной техники — процесс бесконечный. В этом отношении ракетно-космическая техника по темпам развития даже обогнала авиацию.

Наша задача — рассказать прежде всего об основных принципах работы обычных ракет.

Все основные принципы работы космической ракеты были сформулированы и научно обоснованы (не только теоретически, но многие и экспериментально!) основоположником космонавтики, нашим соотечественником К. Э. Циолковским.

В соответствии с формулой Циолковского

$$v_k = v_a \ln(1 + K_{ц})$$

конечная скорость v_k , приобретаемая ступенью ракеты в отсутствие гравитационного и аэродинамического сопротивлений, зависит от скорости истечения массы v_a и отношения массы топлива к сухой массе ракеты, которое называют числом Циолковского:

$$K_{ц} = M_T / M_c.$$

На первых этапах создания космических ракет стремились к увеличению $K_{ц}$. Так, американская ракета «Атлас» имела $K_{ц} = 13$, что близко к теоретическому пределу. Скорость истечения v_a определяется средней молекулярной массой продуктов истечения $\bar{\mu}$, энергоемкостью топлива E , теплоемкостью продуктов истечения C_p и КПД работы двигательной установки η :

$$v_a \approx \sqrt{\frac{2g}{\bar{\mu}} \frac{E}{C_p} \eta},$$

причем для одних и тех же топлив v_a определяется совершенством двигательной установки (ДУ).

Исходя из сказанного для одних и тех же видов топлив v_a и $K_{ц}$ — величины практически независимы, поэтому конструкторы и стремились к повышению $K_{ц}$, считая этот критерий одним из самых важных. Так, ракета «Атлас» сконструирована по «несущей» схеме, т. е. ее баки, выполненные из стали, были и ее корпусом. Толщина стенок бака увеличивалась от вершины к основанию ракеты, а в среднем составляла примерно 0,8 мм. Эксплуатация ракеты из-за этого значительно усложнялась. Перевозить ее можно было, например, только с поддутыми баками. Высокая (100 тыс. долл./кг) стоимость выведения груза с помощью такой ракеты говорит сама за себя.

Следующий принцип, закладываемый в конструкцию космических ракет, — это их ступенчатость, т. е. последовательная работа ракетных блоков. Этот принцип был сформулирован К. Э. Циолковским в 1926 году в труде «Исследование мировых пространств реактивными приборами» (новая редакция). Для n -ступенчатой ракеты формула Циолковского принимает вид:

$$v_k = \sum_{i=1}^n v_{ai} \ln(1 + K_{цi}) \quad (\text{при } i = 1, \dots, n),$$

т. е. открывает возможность достижения космических скоростей при реальных значениях $K_{цi}$ и v_{ai} .

Большое количество проведенных в 30—40-х годах теоретических расчетов траекторий движения космических ракет и допустимых нагрузок на их конструкцию позволило установить близкие к оптимальным потери на гравитацию и аэродинамическое сопротивление: соответственно около 1300 и 200 м/с. Поэтому для предварительных проектных оценок конечную скорость в формуле Циолковского принимали равной не 8000 м/с, а 9500 м/с. Если при выбранных величинах v_{ai} и $K_{цi}$ а также количестве ступеней n это значение удовлетворялось, то можно было приступить к рабочему детальному проектированию космической ракеты.

В процессе детального проектирования уточняли и оптимизировали конструкцию, соотношение компонентов топлива (отношение расхода окислителя к расходу горючего) и определяли закон его регулирования в полете, метод и давление наддува топлив-

ных баков, уточняли конструкцию и параметры ДУ, системы управления, аэродинамическую форму и аэродинамические характеристики, конструкцию органов управления, тепловые режимы, механические, вибрационные и акустические нагрузки, определяли технологические возможности производства ракеты, а также возможности стендовых испытаний ее частей, а затем и комплексных испытаний ракеты в сборе, уточняли ее эксплуатационные характеристики.

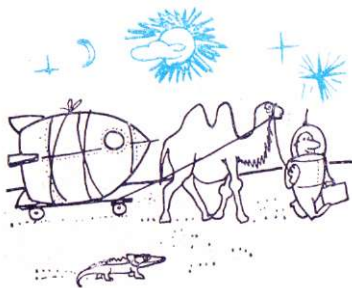
Все эти работы проводились в несколько этапов, так как препятствий было очень много. Как правило, и стенды, и технические позиции, и стартовые комплексы приходилось создавать заново с учетом многих ограничений и трудностей, обычных в каждом новом деле.

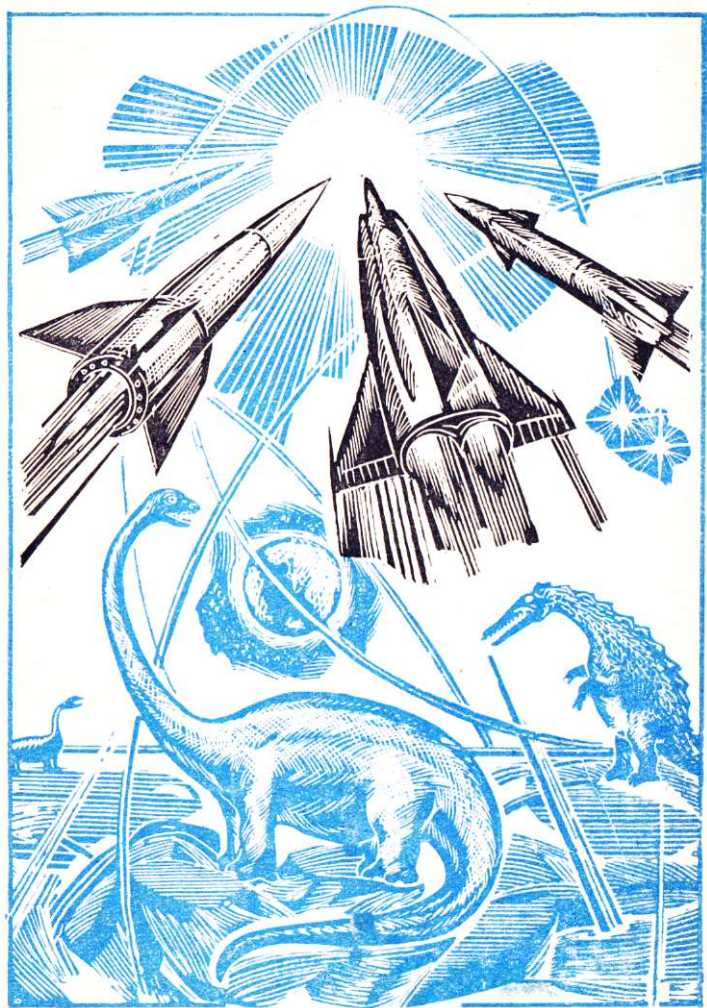
Если для авиации земная атмосфера является необходимым компонентом для осуществления полета, то создание космических ракет первого этапа характеризовалось необходимостью преодоления большого количества проблем, связанных именно с наличием у Земли атмосферы. Именно из-за атмосферы ракете необходимо преодолевать аэродинамическое сопротивление, испытывать тепловые, акустические и динамические нагрузки, терять в тяге и удельной тяге двигателей [для ракет с ЖРД и ракетных двигателей твердого топлива (РДТТ)] в результате изменения давления атмосферы с высотой, иметь сложные системы управления и аэродинамические стабилизаторы, подвергаться взрывоопасности, иметь тяжелые и трудоемкие в изготовлении головные, антенные и другие обтекатели, преодолевать (за счет увеличения собственной массы) ветровые воздействия во время стоянки на стартовой позиции, иметь громоздкую теплоизоляцию баков с криогенными компонентами (жидкие кислород, водород, гелий), а также специальные устройства для программного стравливания газов из отсеков, устройства для стекания электростатического заряда и т. п.

К этому следует добавить, что и современные ракеты также проектируются с учетом всех перечисленных выше особенностей, однако сейчас к услугам проектантов электронно-вычислительные машины, огромный опыт в создании ракет, арсенал новых металлов и материалов, современные стенды и аэродинамические трубы.

Кроме того, сложились огромные коллективы специалистов, которым под силу стало создавать новую, более совершенную технику.

Академик С. П. Королев — создатель первой в мире космической ракеты — писал о перспективах космонавтики: «Создание огромных, весом в десятки тонн, межпланетных кораблей с экипажем, состоящим из нескольких человек, позволит осуществить длительные (около двух-трех лет) космические полеты. А далее... Впрочем, сейчас трудно предаваться мечтам, ибо в наше замечательное советское время бывает и так, что жизнь опережает мечту. Ясно лишь одно: космонавтика имеет безграничное будущее и ее перспективы беспредельны, как сама Вселенная». И далее: «Луна, Марс, Венера... Созвездия близких и дальних Галактик. Мы говорим ныне о полетах в глубины Вселенной не на языке мечтателя-фантаста, а как о вполне реальной, доступной человечеству задаче, как о перспективе развития советской науки и техники, базирующейся на преимуществах социалистического строя».





3. БРОНТОЗАВРЫ РАКЕТНОЙ ТЕХНИКИ

Появление космических ракет, т. е. тяговых систем, способных сообщать искусственным телам космическую скорость, привело, к появлению Первого ИСЗ и многих других космических объектов, успешный запуск которых ознаменовал рождение космонавтики. Все эти космические объекты проектировались под существующие ракеты. Постепенное усложнение и увеличение космических объектов привело к тому, что их стоимость стала превышать стоимость не только ракеты-носителя, но и всего процесса выведения объекта на орбиту.

Началась новая фаза создания тяговых систем, когда размеры, масса и другие характеристики ракеты стали диктоваться потребностями выведения конкретного полезного груза, рассчитанного на определенную космическую задачу. Теперь уже ракета-носитель стала проектироваться под конкретную полезную нагрузку.

Так появился первый «бронтозавр» ракетной техники — гигантская ракета «Сатурн-5» (США). Высота этой ракеты около 100 м, стартовая масса около 3000 т, масса выводимого на орбиту полезного груза около 100 т. Ракета имела единственное назначение — обеспечить первые в истории человечества лунные экспедиции, в частности, первую высадку человека на другое небесное тело — Луну.

В выполнении этой грандиозной программы участвовало, как мы ранее говорили, свыше 2000 фирм. Ассигнования также были весьма внушительными — 25 млрд. долларов. Создавались новые гигантские двигатели, осваивались новые технологические операции, необходимые для изготовления баков и других конструктивных элементов ракеты, на полную мощность работали десятки аэродинамических труб, в которых уточнялись формы и характеристики будущей ракеты, создавались небывалые по размеру экспериментальные установки и стенды. Впервые в мире был построен стенд для динамических испытаний всей ракеты в сборе в вер-

тикальном положении. Построен и сдан в эксплуатацию стенд для комплексных огневых испытаний первой ступени носителя, создано уникальное сверхгигантское оборудование технической и стартовой позиции. Сложнейший комплекс лунных кораблей, тренажеров для космонавтов, стендов, имитирующих лунные условия, и другое оборудование создавались параллельно с изготовлением носителя. Первый пилотируемый полет на Луну корабля «Аполлон» был осуществлен в 1969 году. Космонавты США Н. Армстронг и Э. Олдрин установили на Луне научную аппаратуру и, собрав образцы лунного грунта, вернулись со своим драгоценным грузом на Землю.

Затем экспедиции повторялись, их программы и оснащение совершенствовались, однако привлекательность этих экспедиций постепенно уменьшалась. Для большинства людей полеты на Луну постепенно стали казаться будничным делом. И вот... 11 декабря 1972 года состоялась последняя экспедиция на Луну, а ракета «Сатурн-5» и все сооружения, необходимые для ее эксплуатации, были законсервированы.

Некоторые организации США, воодушевленные успешным завершением «лунной эпопеи», приступили к проектированию более мощных «послесатурновских» ракет. Однако опыт создания ракеты «Сатурн-5» оказался не только положительным, но и стал серьезным уроком для ученых и конструкторов. Эпизодичность работ, требующая тем не менее труда огромных коллективов, приводила к массовым увольнениям проектантов после окончания проектных работ, специалистов по экспериментальной отработке после того, как эта отработка была закончена, эксплуатационников после завершения программы полетов на Луну.

Таким образом, и космическую промышленность США не обошли характерные для капитализма явления: массовые увольнения, забастовки, недовольство рабочих и инженеров организацией работ и своим положением, когда нельзя быть уверенным в завтрашнем дне.

Научные результаты лунных экспедиций США, как показал последующий их анализ, проведенный в сравнении с результатами, достигнутыми СССР с помощью автоматических средств («Луна-16, 20, 24», «Луноход-1, 2» и т. п.), также оказались не таки-

ми уж высокими, если учесть затраченные средства. Английская газета «Файнэншл таймс» писала: «СССР ясно продемонстрировал, что с помощью непилотируемых автоматических аппаратов можно достигнуть того же, что и с помощью высадки людей...». Исполняющий обязанности директора Национального управления по авиации и исследованию космического пространства Джордж Лоу заявил, ссылаясь на мнение ряда специалистов, что непилотируемые полеты к Луне и другим планетам являются «наиболее рациональным методом исследования Солнечной системы». Научный обозреватель агентства «Пресс Ассошиэйшн» (Великобритания) А. Браун сказал, что русские «продемонстрировали, в частности, что вполне можно собирать образцы лунных пород со значительно меньшими затратами, чем того требует отправка кораблей с экипажами».

При создании в США лунного комплекса было решено большое количество сложнейших инженерных проблем, которые могли остаться незамеченными не только для широкой аудитории, следящей на экранах телевизоров за космонавтами, но и для многих подготовленных специалистов, ученых и государственных деятелей. Специалистам пришлось разработать принципиально новую систему управления, множество новых электронных приборов и аппаратуры, внедрить новую элементную базу для этих изделий, внедрить в практику расчетов и экспериментов новейшую электронно-вычислительную технику, создать, как уже отмечалось, множество уникальных конструкций и сооружений, отработать новые технологические процессы. Решение организационных вопросов, комплексное решение проблем обеспечения безопасности и надежности полета также можно отнести к важным достижениям американских инженеров. Было практически показано, что современная техника находится на таком уровне развития, что ей под силу решать самые грандиозные задачи, осуществлять самые дерзновенные мечты человечества.

Значительно трудней выбрать правильные пути научно-технического прогресса, наиболее рациональные задачи, на решение которых необходимо, в первую очередь, затрачивать материальные ресурсы.

Американским инженерам и ученым пришлось очень много

работать, чтобы хоть в какой-то мере восполнить серьезные просчеты, выявленные при эксплуатации гигантской сверхракеты «Сатурн-5». Подготовка к пуску и сам пуск этой ракеты — явление довольно редкое. Остальное время дорогостоящее оборудование вынуждено простаивать законсервированным. Тем не менее, огромный обслуживающий персонал сокращать было нельзя.

Не оправдались надежды на реализацию в научно развитых странах за крупное денежное вознаграждение «лунных пород». Продажа сувениров, значков, открыток, демонстрация «лунной» техники в музеях также не смогли сколько-нибудь ощутимо компенсировать затраченные средства. Следующей попыткой выгодно реализовать инженерные достижения НАСА стала продажа ряда материалов, технологических процессов и приборов в другие отрасли, в том числе и в такие, которые выпускают товары широкого потребления. Так, в США появились, например, сковородки из «космических» теплозащитных материалов и много других товаров из «экзотических» материалов.

Была сделана попытка рассмотреть пути дальнейшего применения полученных инженерных решений и в космонавтике. Так, появилась и успешно проработала некоторое время в космосе орбитальная станция «Скайлэб», корпус которой был переоборудован из третьего разгонного блока ракеты «Сатурн-5» (блока «S-IVB»). В настоящее время оборудование технической и стартовой позиции, имеющее отношение к ракете «Сатурн-5», а также технологический задел элементов ракеты законсервированы. Несмотря на то что некоторые стенды, пусковое устройство, сборочный корпус и другие сооружения ракеты «Сатурн-5» предполагается использовать в новой космической программе США «Космический человек», вопрос о том, что делать с ракетой-бронтозавром, не снят.

При формировании новой космической стратегии специалисты НАСА вынуждены были, опираясь на опыт эксплуатации ракеты «Сатурн-5», констатировать следующее.

1. Загрузка персонала должна быть равномерной и постоянной.
2. Контакты со смежными фирмами, организациями, предприятиями и т. п. должны быть продолжительными и прочными.

3. Количество запусков в течение года должно быть равномерным и возможно большим.

4. Огромные ассигнования, требующиеся для создания новой космической техники, могут быть получены лишь при широкой кооперации с другими странами, т. е. при международном сотрудничестве.

5. В создании новых образцов космической техники необходимо заинтересовывать военные ведомства США, так как только так можно получить необходимые ассигнования в условиях господства военно-промышленного комплекса.

Как показала практика дальнейшей работы НАСА, все эти выводы были приняты во внимание при разработке нового проекта — многоразовой системы «Космический человек».

Почему инженеры и ученые США отказались от «послесатурновских» гигантов, о которых много писалось в технической литературе и которые даже фигурировали в космических прогнозах?

Казалось бы, увеличение размера ракет снижает стоимость выведения полезного груза, постепенное усложнение космических задач требует неуклонного увеличения массы полезного груза, выводимого одной ракетой-носителем, наконец, имеющийся положительный опыт создания ракеты «Сатурн-5» может быть использован и при разработке еще более тяжелых ракет.

Однако исследования показали, что основной враг сверхгигантских ракет — не сложность их производства, не эпизодичность запусков и не долгий период подготовки к запуску и даже не одноразовость их применения, а явление, которое для первых космических ракет вообще не принималось во внимание. Имя этому грозному «врагу» — акустика.

Нагружение конструктивных элементов ракет передающимся через внешнюю среду (воздух) акустическим, или звуковым, излучением, генерируемым реактивными струями, для однотипных по схеме ракет возрастает с увеличением характерного размера l пропорционально l^4 .- l^5 в зависимости от типа и числа двигателей в ДУ. В то же время масса ракеты и тяга ее ДУ при условии сохранения постоянной тяговооруженности (отношение массы ракеты к тяге ее ДУ) увеличивается пропорционально R . Это означает, что к статической нагрузке, которая оп-

ределяется в основном массой ракеты и тягой ее ДУ при условии, что траектории полета сравниваемых ракет идентичны, добавляется все более и более увеличивающаяся по мере роста размера динамическая нагрузка акустического характера.

[Конечно, на ракету в полете действуют и другие динамические нагрузки (работа органов управления, колебания аэродинамических сил из-за атмосферной турбулентности, колебания жидкости в баках и т. п.), однако их частоты существенно меньше акустических, да и энергия этих динамических нагружений меньше.]

Несмотря на то что в акустическое излучение преобразуется не более 1 % кинетической энергии реактивных струй ракетных ДУ, эта энергия огромна.

Вот почему, несмотря на то что в сторону летящей ракеты направлена лишь небольшая часть излучаемой струями акустической энергии, несмотря на то что с ростом скорости полета ракеты поток акустической энергии к ней уменьшается, а при достижении ракетой скорости звука прекращается *, вся конструкция должна быть рассчитана на максимальные действующие на ракету акустические нагрузки.

Поскольку относительные акустические нагрузки при возрастании размеров ракеты резко увеличиваются, масса ее силовых элементов должна возрастать не пропорционально l^3 , а значительно быстрее. Это означает, что начиная с некоторого оптимального размера, массовая отдача ракеты будет уменьшаться. Оказалось (по-видимому, случайно), что размеры ракеты «Сатурн-5» находятся как раз вблизи такого оптимума **. Дальнейшее увеличение размеров и стартовой массы ракеты-носителя приведет к уменьшению относительной массы выводимого полезного груза. Как ут-

* При полете ракеты со скоростью звука, как правило, реализуются максимальные скоростные напоры $q = \rho v^2 / 2$, где ρ — плотность атмосферы, а v — скорость полета ракеты, поэтому резко увеличиваются так называемые псевдоакустические воздействия, вызванные пульсациями давления в пограничном слое.

** Уменьшение размера ракет также ведет, как показывает опыт, к снижению массовой отдачи (отношение массы выведенного полезного груза к стартовой, т. е. начальной, массе ракеты), поскольку сказываются технологические факторы и увеличенные относительные массы систем (управления, энергоснабжения и т. п.).

верждается в ряде работ, выполненных в США, стартовая масса $m_0 \approx 20\ 000$ т является вообще предельной для ракет с ЖДР. При этой массе ракета еще может лететь и ее конечная ступень достигнет орбиты ИСЗ, но сколько-нибудь ощутимого полезного груза она не выведет. Дальнейшее увеличение стартовой массы приведет к вырождению космической ракеты — ее конечная ступень уже не будет выходить на орбиту, т. е. ракета такой массы будет просто баллистической ракетой. Космической ракетой-носителем ее называть будет уже нельзя, несмотря на огромную массу и внушительные размеры.

Таким образом, был установлен еще один звуковой (теперь уже акустический) барьер*, препятствующий количественному росту размеров космических ракет. Это так называемое физическое ограничение, преодолеть которое, не меняя схему ракеты и ее ДУ, просто невозможно.

Увеличение нагрузок из-за акустики на ракетах типа «Восток» (СССР) или «Атлас» (США) составляло в среднем всего 5%, что было намного меньше точности расчетов, поэтому им нередко пренебрегали**. Для ракеты «Сатурн-5» это увеличение составило уже около 15%, поэтому пренебрегать им стало нельзя. Кроме большого количества теоретических расчетов американским инженерам пришлось провести специальные акустические исследования на моделях при натурной стендовой отработке блоков и при штатных полетах ракеты. Все это и позволило выявить те основные закономерности, о которых говорилось выше.

Но акустика — не единственная причина отказа от гигантских одноразовых ракет, даже таких, как «Сатурн-5». Большая металлоемкость и сложность электронных приборов одноразовых блоков, потребность в огромных количествах топливных компонентов, необходимость иметь зоны отчуждения, т. е. свободные от судо-

* До этого специалисты имели дело только с одним звуковым барьером (возникающим при разгоне летательного аппарата до скорости звука). Этот первый барьер был успешно пройден за счет применения мощных двигателей, использования новых методов расчета и экспериментальной отработки конструкций летательных аппаратов.

** Это, разумеется, не относится к необходимости в любом случае проводить динамические расчеты по выявлению так называемых резонансов — совпадений собственных частот колебаний конструкций и частот колебаний вынуждающих сил.

ходства акватории Мирового океана или неиспользуемые территории суши, предназначенные для падения отработавших блоков, уже упомянутые продолжительные перерывы между пусками, невозможность универсального использования таких ракет (невозможность, например, изменения азимутов выведения, масс и конфигураций полезного груза), огромные и используемые с неполной загрузкой производственные площади для их изготовления, сложность технического обслуживания, необходимость иметь большое количество обслуживающего персонала, вынужденного простаивать в периоды между пусками, меньшая, чем для ракет среднего класса, долговечность стартовых сооружений, сложность и стоимость которых к тому же значительно выше, и, как следствие этих факторов, относительно слабый экономический эффект от применения таких ракет и их слабое психологическое «влияние на умы людей» — вот те основные причины, которые побудили американских инженеров отказаться от производства и эксплуатации ракет класса «Сатурн-5». Было также прекращено дальнейшее проектирование одноразовых ракет.

Уже после прекращения работ над сверхгигантскими одноразовыми ракетами-носителями выяснилось еще одно неприятное обстоятельство — их отрицательное воздействие на окружающую среду. Как известно, в земной атмосфере на высотах 20—50 км имеется озоновый слой, который предохраняет все живущее на Земле от губительных ультрафиолетовых лучей, посылаемых Солнцем. Сохранение окружающей среды, в том числе и озонового слоя атмосферы — одна из жизненно важных задач человечества.

Проведенные несколькими исследовательскими организациями США, Польши и других стран расчеты показали, что пролет через озоновый слой гигантской ракеты типа «Сатурн-5» оставляет в нем заметное «окно», поскольку озон активно взаимодействует с продуктами истечения и его концентрация уменьшается. Появились даже сообщения, что одновременный запуск пятисот ракет «Сатурн-5» полностью уничтожил бы озоновый слой Земли, обрекая на вымирание все на ней живущее.

Эти исследования были только началом. Теперь все новые проекты космических ракет и даже высотных самолетов рассмат-

риваются в числе прочих факторов и с позиций воздействия предлагаемой системы на окружающую среду.

Таким образом, оказалось, что масса выводимого гигантской ракетой привычной конструкции полезного груза не может превышать 100—500 т (верхнее значение — за счет некоторого дополнительного снижения эффективности). Выяснилось также, что ракета «Сатурн-5», уже созданная для выведения груза массой около 100 т, нерентабельна и ее пришлось снять с производства.

Вместе с тем развивающаяся космическая техника выдвигает новые требования к ракетам-носителям. Они должны быть рентабельны, удобны и практичны в производстве и эксплуатации, надежны, безопасны, а главное — универсальны. Прогнозы говорят о том, что выводимые на орбиту ИСЗ грузы массой 100—500 т — далеко не предел с точки зрения потребностей космонавтики. Что же делать? Может быть, используя положительный опыт в проведении стыковок на орбите, выводить грузы меньшей массы и затем соединять их. Или разработать принципиально новую конструкцию ракеты, которой было бы под силу вывести в космос монолитный груз с более высокой эффективностью, чем делала это ракета «Сатурн-5»?

Принципиально новыми в ракетостроении стали следующие направления: применение ядерной энергии, использование внешних ресурсов и создание универсальных систем.



У. Курчатов



4. АТОМ И РАКЕТА

«Делать все для прекращения гонки вооружений, для укрепления Мира и безопасности народов — в этом мы видим коренную задачу своей внешней политики», — сказал в своей речи на торжественном заседании Бакинского горкома партии и городского Совета народных депутатов 22 сентября 1978 года Генеральный секретарь ЦК КПСС, Председатель Президиума Верховного Совета СССР товарищ Л. И. Брежнев.

Неустанная забота нашего государства о достижении соглашений об ограничениях, а затем и о полном прекращении производства ядерных боеприпасов находит все большее понимание у народов мира. Появляются предложения и даже конкретные проекты использования уже накопленного ядерного оружия в мирных целях.

Советский Союз является первой державой, активно ставящей в основу своей внешней политики политику мира. Поэтому не случайно, что именно по инициативе СССР были приняты первые основные резолюции ООН: о международном сотрудничестве в использовании космического пространства в мирных целях (20 декабря 1961 года), о невыводе на орбиту объектов с ядерным оружием (17 октября 1963 года), о настоятельной необходимости приостановки ядерных и термоядерных испытаний (27 ноября 1963 года) и т. п.

Последовательное разоблачение «войн ужасов», т. е. проектов некоторых западных военных стратегов ведения будущих войн с привлечением новейших достижений науки, в том числе и ядерной физики, конкретные примеры в строительстве мирных объектов ядерной энергетики, таких, как Первая атомная электростанция, неустанная работа, направленная на скорейшее запрещение применения ядерного оружия и разоружение — все эти шаги характеризуют деятельность Советского государства, узаконенную принятой в 1977 г. новой Конституцией СССР (статьи 28—30).

Вот почему ученые и инженеры многих стран все чаще обращаются к проектам переключения накопленного ядерного арсенала на мирные цели. Атомные электростанции, атомные ледоколы и другие корабли, атомные самолеты, атомные климатические установки и, наконец, атомные космические ракеты — это далеко не полный перечень возможных областей применения ядерной энергии в мирных целях.

В настоящее время ядерная энергетика, у истоков которой стоял выдающийся советский физик, академик И. В. Курчатов, уже вышла из младенческого возраста и не только доказала свою жизнеспособность и рентабельность, но и превратилась в отрасль, которой суждено быть ответственной за будущее энергетики Земли. Ресурсы ядерной энергетики намного превосходят все остальные ископаемые земные энергоресурсы. Ядерная энергия, как показали многочисленные исследования, может считаться также будущим транспортной энергетики, включая и энергетическое обеспечение космических транспортных средств. Последнее обусловлено тем, что ядерное сырье обеспечивает максимальную концентрацию энергии в единице массы, что является залогом создания в будущем компактных и энергоемких энергетических установок.

Процессы, при которых выделяется ядерная энергия, подразделяются на *радиоактивные превращения, реакции деления тяжелых ядер, реакции синтеза легких ядер, реакции аннигиляции вещества и антивещества.*

Радиоактивные превращения реализуются в так называемых изотопных источниках энергии. Один из таких источников был использован, например, на объекте «Луноход-1» и показал при этом отличные энергетические и эксплуатационные характеристики.

Для энергетических целей используются обычно искусственные радиоактивные изотопы, значительные количества которых в настоящее время можно получить лишь в ядерных реакторах деления, облучая нейтронами исходные продукты. Например, для получения распространенного в энергетических установках радиоактивного изотопа ^{210}Po в реактор закладывают после соответствующей очистки природный висмут (^{209}Bi). Удельная массовая энергия (энергия, которую может выделить 1 кг массы) искусственных радиоактивных изотопов значительно выше, чем у хими-

ческих топлив. Так, для ^{210}Po она равна $5 \cdot 10^8$ кДж/кг, в то время как для наиболее энергопроизводительного химического топлива (бериллий с кислородом) это значение не превышает $3 \cdot 10^4$ кДж/кг.

Удобство работы с изотопными источниками состоит в их простоте, способности выделять энергию в любых количествах (в зависимости от массы изотопа, как бы мала она ни была), хорошей защищенностью персонала от ионизирующих излучений. Так, ^{210}Po испускает в основном α -частицы (ядра гелия), которые легко поглощаются сравнительно тонкими оболочками, и очень слабое γ -излучение (на один распад 10^{-5} γ -квантов). В настоящее время с помощью подобных источников получают в основном тепловую энергию, которая выделяется при поглощении в материале тепловыделяющего элемента α - или β -частиц (электронов), испускаемых источником. Тепловая энергия может преобразовываться в электрическую или механическую. Так, выполнив тепловыделяющие элементы источника в виде пористой массы или каналов, по которым прокачивается рабочее тело, можно получить радиоизотопный реактивный двигатель. Схема такого двигателя напоминает схему ЖРД с той лишь разницей, что вместо камеры сгорания у него будет камера нагрева рабочего тела, заполненная пористым радиоизотопным веществом.

К сожалению, подобные двигатели применять на космических ракетах-носителях пока нерационально. Причина этого — высокая пока еще стоимость изотопного вещества и трудности эксплуатации. Ведь изотоп выделяет энергию постоянно, даже при его транспортировке в специальном контейнере, при стоянке ракеты на старте, при ее обслуживании и т. п.

Если можно будет создать специальное автоматическое устройство, перегружающее изотопный источник без его перегрева и разрушения из охлаждаемого контейнера в камеру двигателя непосредственно перед стартом ракеты, то дорога в космос радиоизотопным ракетам-носителям будет открыта. Возможен и другой путь — установка на ракете перед стартом всего двигателя, который во время предстартового обслуживания ракеты должен охлаждаться специальными наземными средствами. Существует и другая эксплуатационная проблема — проблема безопасности при разрушении источника, поскольку загрязнение атмосферы и

земной поверхности радиоактивными продуктами недопустимо. По-видимому, выполнить это условие можно с помощью выбора изотопа с малым периодом полураспада*, равным примерно половине времени выведения полезного груза на орбиту ИСЗ. Известно, что тяга двигателя при полете ракеты должна постепенно уменьшаться из-за уменьшения массы ракеты в результате расходования рабочего тела. Естественное уменьшение энерговыделения источником соответствует этому требованию, так как количество рабочего вещества, прокачиваемого через двигатель и выбрасываемого наружу в виде реактивной струи, уменьшается; кроме того, частичное или даже полное разрушение двигателя приведет к загрязнению окружающей среды на очень короткий срок. Правда, в этом случае перевозки изотопа недопустимы, и установку для его получения придется создавать прямо на стартовой позиции, что связано с дополнительными трудностями в работе.

В качестве рабочего тела изотопного ракетного двигателя целесообразно применять воду как наиболее дешевое и безопасное вещество. Температура паров на выходе из нагревателя должна быть возможно выше, но здесь ограничивающим фактором является допустимая температура изотопа. Таким образом, подбор изотопов с высокой рабочей температурой, достаточно энергоемких и дешевых в получении, — важная проблема на пути создания изотопного ракетного двигателя.

Ядерные реакторы деления используют еще более энергопроизводительное топливо, чем изотопы. Так, удельная массовая энергия ^{235}U (делящегося изотопа урана) равна $6,75 \cdot 10^9$ кДж/кг, т. е. примерно на порядок выше, чем у изотопа ^{210}Po .

Ядерным ракетным двигателям посвящена обширная как специальная, так и популярная литература. Известно, что в США созданы экспериментальные образцы реакторов для таких двигателей и даже стендовые образцы двигателей, прошедшие успешные испытания. Все это говорит о том, что трудностей при создании ядерных ракетных двигателей на базе реакторов деления, по-видимому, меньше, чем при создании изотопных двигателей.

* Период полураспада — время, в течение которого в среднем распадается половина атомов радиоактивного вещества.

Например, эти двигатели можно «включать» и «выключать», ядерное горючее (^{233}U , ^{235}U , ^{238}U , ^{239}Pu) значительно дешевле изотопного, температура твэлов* даже при существующей технологии создания тугоплавких материалов примерно в два раза выше, чем температура изотопных источников, и составляет примерно 3000 К, обеспечивая тем самым большую удельную тягу (удельный импульс) двигателей. В таких двигателях в качестве рабочего тела может применяться не только вода, но и более эффективные рабочие вещества — спирт, аммиак, жидкий водород. Особенно высокие значения удельных импульсов (до 900 кгс·с/кг) можно получить, применяя жидкий водород. Существуют и более экзотические проекты ядерных ракетных двигателей, в которых делящееся вещество находится в жидком, газообразном или даже плазменном состоянии. Двигатели с газообразным или плазменным рабочим веществом иногда называют двигателями «лампового типа», так как нагрев рабочего тела осуществляется в основном за счет излучения тяжелой урановой плазмы. Удельный импульс таких двигателей в случае применения в качестве теплоносителя водорода может составить 2500 кгс·с/кг. Нетрудно догадаться, что основные проблемы в создании таких двигателей — это разработка способа удержания уранового газа или плазмы, способа эффективного теплосъема, способов запуска и останова. Существуют также предложения об использовании в качестве движущей силы последовательных взрывов ядерных (в том числе и термоядерных) зарядов. Подавая такие заряды по специальному тоннелю из хранилища в зону взрыва, отстоящую от космического аппарата на несколько десятков—сотен метров, расположенную за специальной буферной плитой с амортизатором, и строго рассчитав момент взрыва, можно получить довольно эффективное воздействие продуктов взрыва на буферную плиту, которая через систему амортизаторов передает тяговые импульсы всей ракете. Огромные температура и давление, развиваемые в зоне взрыва, обеспечивают высокие значения удельных импульсов (или усредненных по времени удельных тяг). Заманчивость этой схемы ясна — она позволяет использовать для целей космонавтики огром-

* Твэлы — тепловыделяющие элементы.

ные запасы ядерных и термоядерных боевых зарядов. Во втором случае это уже будет термоядерный двигатель.

Более привлекательна, однако, схема термоядерного микровзрывного или же стационарно работающего ракетного двигателя. Рассмотренные выше двигатели, по-видимому, не пригодны для установки на ракеты, которые должны стартовать с Земли. Применять их в космосе также нерационально из-за высокой опасности для окружающей среды. Заметим, что в космических условиях для организации продолжительных дальних экспедиций значительно большие преимущества имеют двигатели малой тяги — ядерные электрореактивные двигатели, которые в виде законченных проектов и опытных образцов существуют уже сейчас.

Нас же в первую очередь интересует энергетика ракет, стартующих с поверхности Земли. Оказывается, что термоядерный двигатель для таких ракет может оказаться наиболее предпочтительным. Наиболее распространенное в природе термоядерное горючее — водород. Четыре атома водорода, превращаясь в один атом гелия, выделяют огромную энергию. Энергопроизводительность водорода в этой реакции составляет $6,45 \cdot 10^{11}$ кДж/кг, т. е. примерно на два порядка выше энергопроизводительности ядерных реакций деления. Огромная аккумулированная в водороде термоядерная энергия создает предпосылки, как будет показано в дальнейшем, для создания принципиально нового типа космических тяговых систем.

Космические ракеты с термоядерными водородными двигателями могут не запасать топливо на борту, а потреблять его непосредственно из окружающей среды.

В настоящее время ученые всего мира работают над проблемой «приручения» термоядерных реакций, над созданием управляемых термоядерных реакторов и энергетических установок на их основе.

Советские ученые занимаются разработкой этой проблемы вот уже более четверти века. Изучаются вещества, вступающие в термоядерные реакции при малой начальной температуре и дающие значительный энергетический выход, методы нагрева и удержания плазмы, а также многие другие проблемы, встающие на пути овладения этим новым энергетическим процессом.

По-видимому, первые термоядерные установки будут работать не на чистом водороде, а на таких «пусковых» топливах, как смесь дейтерия и трития, смесь дейтерия и гелия, а возможно, и на тройных композициях.

Накануне XXV съезда КПСС в СССР был проведен так называемый физический пуск новой термоядерной установки «Токамак-10» (физический пуск — это проверка функционирования системы на нулевой мощности). Установка напоминает собой огромный трансформатор, вторичная обмотка которого заменена пустотелым тором, заполненным смесью дейтерия и трития. При подаче тока в первичную обмотку во вторичной возбуждается газовый разряд, причем плазменный шнур благодаря текущему по нему току начинает сжиматься и разогреваться. Важно, чтобы плазма не соприкасалась со стенками. Коснувшись стенок, плазма, во-первых, охлаждается, а во-вторых, загрязняется испарившимся материалом стенки, что ведет к ее еще большему охлаждению. Чтобы уменьшить влияние различных неустойчивостей, приводящих к деформации плазменного кольцевого жгута и смещению его от центра тора, применяют магнитные катушки. Размеры и параметры установки «Токамак-10» таковы, что температура плазмы в ней достигает $2 \cdot 10^7$ К, что только в 4—5 раз меньше требуемой для начала термоядерного синтеза.

В Физическом институте им. П. Н. Лебедева АН СССР успешно ведутся работы по иницированию термоядерных реакций с помощью лазерного излучения. Такой путь считают перспективным для импульсных термоядерных реакторов.

Все это означает, что уже сейчас настало время для изучения инженерно-технологических вопросов создания термоядерных ракетных двигателей.

Наибольшая энергопроизводительность характерна для ядерных реакций аннигиляции: 1 кг массы вещества и антивещества при полной аннигиляции должен выделить $9 \cdot 10^{13}$ кДж энергии, что более чем на два порядка превышает энергопроизводительность термоядерных реакций. Но в отличие от термоядерной проблемы задача создания аннигиляционных установок представляется более сложной из-за того, что не решены вопросы производства антивещества.

Природные ресурсы антивещества пока неизвестны, существуют лишь предположения и косвенные данные о том, что в межзвездном пространстве оно может существовать в незначительных количествах — до 10^{-5} % обычного вещества. Большой интерес представляют запланированные эксперименты по обнаружению так называемых антизвезд с помощью «нейтринных телескопов». Астрофизики подсчитали, что при вспышке каждой сверхновой звезды выделяется мощный поток нейтрино и антинейтрино, причем если эта сверхновая звезда состоит из антивещества (антизвезда), то поток нейтрино из нее будет превышать поток антинейтрино. Для обычной же сверхновой звезды, состоящей из обычного вещества, поток антинейтрино будет примерно в два раза превосходить поток излучаемых нейтрино.

Если когда-либо будут открыты антизвезды, то надежда на использование рассеянного в космосе антивещества существенно увеличится.

Получение антивещества в земных лабораторных условиях потребует разрешения таких проблем, как получение элементарных античастиц, синтезирование из этих античастиц химических элементов антивещества в плазменном состоянии, охлаждение плазмы, ожигение и затем отверждение антивещества. Естественно, что все перечисленные процессы должны проходить в любой фазе без контактов антивещества со стенками (из вещества). Это условие и является одним из решающих в проблеме получения антивещества.

Сейчас трудно предсказать, когда именно появится первое антивещество, пригодное для хранения на борту ракеты. Но темпы физических исследований растут с каждым днем. На ускорителях получают ядра антиводорода, а на новых ускорителях больших энергий — и более тяжелые ядра. Так, при энергии соударения протонов с бериллиевой мишенью 30 ГэВ * был получен антидейтрон, а при энергии около 70 ГэВ — ядра антигелия. В Сибирском отделении АН СССР успешно ведутся работы по получению нейтрального газообразного антиводорода **.

* ГэВ — гигаэлектронвольт (10^9 эВ).

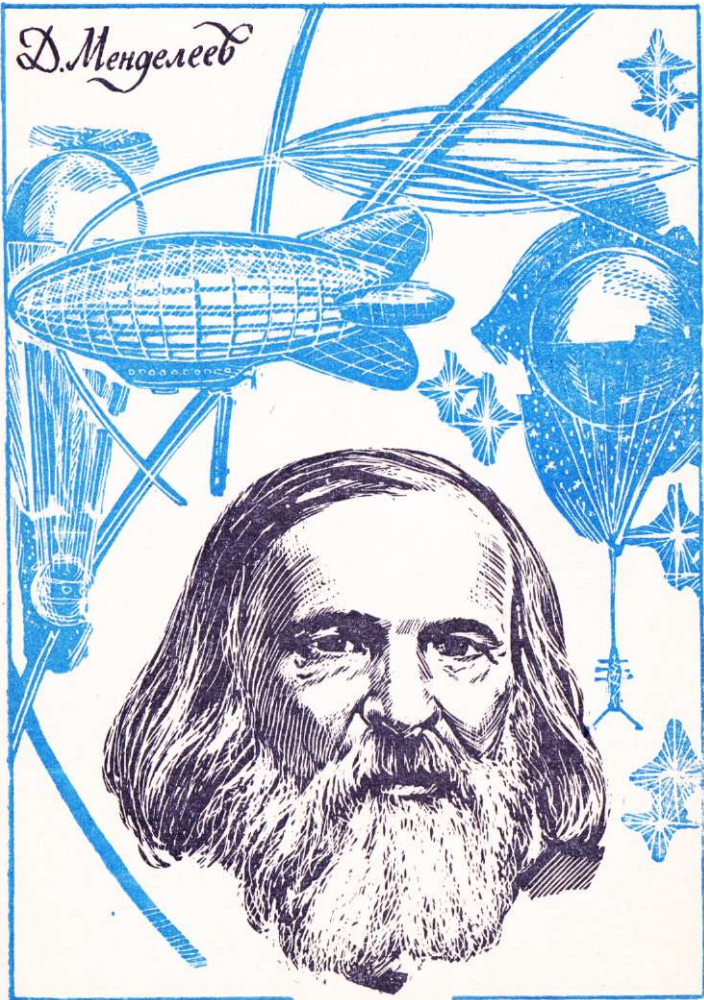
** От античастиц к антивеществу. — «Наука и жизнь», 1977, № 2, с. 40.

Следующий шаг — оживление или отверждение антиводорода в целях его контейнирования в магнитном или электростатическом поле — еще не сделан, но и он не так далек. По-видимому, можно предположить и возможность организации в будущем более сложного процесса — получения тяжелых элементов антивещества в результате термоядерного синтеза антиводорода, антидейтерия, антигелия и т. п. Охлаждение, конденсацию, а также хранение этих веществ на борту будет проще осуществить, нежели водорода, однако представить всю технологию процессов пока еще трудно.

Получение и возможность контейнирования значительных масс антивещества будет означать появление реальной основы для физических исследований и проектирования принципиально новых типов двигателей — фотонного и, как считают некоторые физики, антигравитационного.



Д. Менделеев



5. ЗОЛОТОЙ ДИРИЖАБЛЬ

«Честь имею представить Императорскому русскому техническому обществу мою работу о металлическом азростате вместе с его бумажною моделью... Прошу покорнейше, уважаемое общество, пособить мне, по мере возможности, материально и нравственно» — это строки из письма К. Э. Циолковского, переданного через Д. И. Менделеева * в Техническое общество. Менделеев писал 26 сентября 1890 г.: «...согласно с желанием г. Циолковского (очень талантливого господина) препровождаю в Техническое общество: 1) его письмо, 2) тетрадь его исследования о форме складного металлического азростата и 3) бумажную модель к проекту г. Циолковского».

Как известно, седьмой (воздухоплавательный) отдел Императорского русского технического общества постановил: «Оказать г. Циолковскому нравственную поддержку, сообщив ему мнение Отдела о его проекте. Просьбу о пособии на производство опытов отклонить». Председатель этого отдела инженер Е. С. Федоров тогда заявил, что «азростат обречен навеки силою вещей остаться игрушкой ветров». Эти слова впоследствии неоднократно повторяли многочисленные поколения противников управляемых азростатов. К сожалению, основания к такому пессимизму были. Напомним хотя бы такой факт.

Великобритания, Германия и США приняли на вооружение «систему Цепелина», однако построенные дирижабли не оправдали грандиозных военных и политических надежд. Из 129 построенных «цепелинов» 83 погибло (большинство из

* Великий русский ученый Д. И. Менделеев отличался разносторонними интересами. В частности, он много сделал для воздухоплавания и авиации. Известно, что он помогал А. Ф. Можайскому при создании первого в мире самолета, изобрел и изготовил первый высотомер, высказал идею о создании герметичной кабины для высотного управляемого азростата, подробно изучил принцип полета птиц, совершил в г. Клину самостоятельный подъем на свободном азростате в 1887 году для наблюдения солнечного затмения.

них вне всякой связи с военными действиями; так, 13 дирижаблей сгорело в эллингах от случайного воспламенения).

Потребовались годы труда, экспериментов, упорной работы по пропаганде управляемых аэростатов, в том числе и работы самого К. Э. Циолковского, чтобы проекты дирижаблей, основанные на новых конструктивных принципах, получили признание. Первая поднимавшаяся в воздух модель оболочки такого дирижабля была собрана 15 сентября 1935 года из листов нержавеющей стали толщиной 0,1 мм. При сборке она имела размеры: длину 44 м, ширину 11 м и высоту 0,36 м. При наполнении водородом оболочка приняла форму веретена с максимальным диаметром 7 м. Модель поднимала в воздух 200 кг балласта.

17 сентября 1986 года исполнится 100 лет со дня написания К. Э. Циолковским рукописи «Теория и опыт аэростата, имеющего в горизонтальном направлении удлиненную форму» — первой работы великого ученого по дирижаблестроению. Несомненно, что при увеличивающихся темпах научно-технического прогресса эта знаменательная дата будет отмечена новыми шагами в освоении тяговых средств, так или иначе использующих аэростатическую силу Архимеда.

Известно несколько успешных попыток использовать аэростатическую силу в ракетной технике. Прежде всего необходимо отметить, что ее стали учитывать при расчете летных характеристик тяжелых космических ракет. В качестве примера можно назвать американские ракеты «Сатурн-5» и «Космический челнок». Кроме того, известны случаи применения в ракетной технике аэростатов. Например, в проекте Великобритании «Рокусн» использовался аэростат типа «Скайхок», который поднимал на высоту до 25 км геофизическую ракету. Известны и более сложные проекты с аэростатами в качестве первых ступеней. Американская фирма «Боинг Эйрплейн» спроектировала для запуска и транспортировки ракет тороидальный баллон. Максимальный диаметр баллона 95 м, минимальный 43 м, а его грузоподъемность рассчитана на ракеты массой до 45 т. Баллон разделен на 16 отсеков с общим объемом 10^5 м^3 и выполнен из майларовой пленки. Этой же пленкой затянута внутреннее отверстие тора, причем проведенные фирмой исследования показали, что струя от двигателей ракеты

не вызывает разрушения баллона, т. е. аэростатная конструкция первой ступени может быть многоразовой. Баллон заполняется водородом или гелием, высота его подъема с ракетой 6 км, скорость в горизонтальном направлении при транспортировке ракеты на этой же высоте около 120 км/ч. Последняя достигается при одновременной работе установленных на баллоне трех авиационных двигателей с мощностью каждого 3400 л. с. Двигатели закреплены шарнирно, что обеспечивает широкие возможности для маневрирования и парирования ветровых возмущений.

Об эффективности аэростатических летательных аппаратов говорит такой факт: 20 июля 1958 г. корреспондент «Юнайтед Пресс Интернейшнл» передал из Миннеаполиса сообщение о запуске в США пластмассового аэростата с грузом 102 кг на высоту 40 км. Такая огромная высота (для ее достижения космическая ракета расходует более 60% своей начальной массы!) не предел для аэростатических систем.

Использование аэростатических подъемных сил целесообразнее всего начать с создания комбинированных систем, например реактивно-аэростатических.

Так, заполненное газообразным водородом сигарообразное тело способно на начальном участке движения в земной атмосфере использовать аэростатическую силу, а затем — реактивную, получаемую путем истечения того же самого водорода и его сгорания в воздушно-реактивном двигателе. Подобный аппарат можно модифицировать, если на его передней части установить массозаборное устройство, а на хвостовой — реактивное сопло. Работая как ВРД с огромной камерой сгорания, плотность газа в которой меньше плотности окружающего воздуха, такой аппарат будет одновременно с реактивной развивать ощутимую аэростатическую силу. Вместо сгорающего горючего для нагрева воздуха может быть использован ядерный реактор.

Существуют, наконец, многочисленные проекты, в которых искусственно увеличивается вертикальный градиент внешнего давления, который и создает аэростатическую силу.

Наибольшее распространение получили проекты специальных пусковых установок, выполненных в виде вертикальных труб, внутри которых помещается ракета. В верхней части трубы, т. е.

в области над ракетой создается искусственное разрежение, а под ракетой за счет втекания воздуха, продуктов сгорания, воды (если труба опущена в море) или при комбинированных воздействиях возникает повышенное давление, создающее выталкивающее усилие. Исследования эффективности подобных сооружений проводятся длительное время в США в Университете города Дьюк (шт. Северная Каролина). Было установлено, в частности, что для выбрасывания ракеты «Атлас» (стартовая масса 115 т) с ускорением 10 g требуется пусковая труба высотой 265 м и диаметром 3 м.

Подобные пусковые системы несколько напоминают увеличенные до гигантских размеров артиллерийские орудия, которые для запуска первых отечественных прямоточных двигателей были применены Московской группой изучения реактивного движения (ГИРД) в 1933 г. Необходимо отметить, что возможность применения артиллерийских орудий для предварительного разгона небольших ракет, а также аэродинамических моделей изучается до сих пор. В частности, в США при проведении подобных экспериментов используются тяжелые орудия с диаметром ствола более 400 мм.

Вертикальные потоки атмосферного воздуха, вызванные местными временными аномалиями вертикальных градиентов давления или устойчивыми ветрами, взаимодействующими с горным рельефом поверхности Земли, также могут быть в принципе использованы для подъема летательных аппаратов. Эта проблема, хорошо знакомая планеристам, по мере развития средств предсказания и воздействия на динамику земной атмосферы может оказаться весьма актуальной в космонавтике будущего.

Приведем теперь ряд довольно простых рассуждений, из которых можно понять основные закономерности, лежащие в основе работы аппаратов, использующих аэростатическую подъемную силу. Известный еще из школьных курсов закон Архимеда позволяет сделать вывод о том, что удельная (приходящаяся на 1 м³ объема летательного аппарата) архимедова сила равна просто-напросто плотности атмосферы, умноженной на ускорение свободного падения, соответствующее данной планете и данной высоте над ее поверхностью:

$$P_A, [H/m^3] = \rho [кг/м^3] \times g [H/кг].$$

Таким образом, чем больше объем и чем меньше масса собственно конструкции аппарата, тем больше масса поднимаемого полезного груза.

Удельная (приходящаяся на единицу площади) динамическая (ветровая) сила, действующая на аппарат, равна

$$P_v, [H/m^2] = c\rho v^2 / 2 = cq,$$

где c — экспериментальный аэродинамический коэффициент сопротивления, который для сферических аппаратов не зависит от направления обдувки; q — скоростной напор, H/m^2 .

Наконец, масса конструкционно подобных аппаратов (имеющих, например, разные размеры, но одинаковую удельную прочность оболочки и одинаковое давление в ней) определяется как

$$m_a = \gamma l^3,$$

где γ — конструкционный коэффициент; l — характерный размер аппарата (например, диаметр для сферической формы).

Устойчивость аппарата к ветровым воздействиям определяется нагрузкой на его мидель, т. е. отношением массы аппарата к площади его поперечного сечения. Очевидно, что с увеличением размера аппарата l масса растет быстрее, чем мидель, так как она пропорциональна l^3 , а мидель — только l^2 . Нагрузка на мидель при этом возрастает пропорционально l . Одновременно уменьшается зависимость от воздействия ветра и от турбулентности атмосферы.

Таким образом, увеличение абсолютных размеров летательных аппаратов «легче воздуха» выгодно в отношении их грузоподъемности и оправдано с точки зрения их устойчивости и управляемости.

Использование летательных аппаратов аэростатического типа возможно не только в пределах земной атмосферы, но и в плотных атмосферах других планет, например в атмосфере Венеры, где лот принцип наиболее эффективен. Действительно, организация экспедиции с опусканием на поверхность планеты довольно проблематична. Высокая температура атмосферы на поверхности Ве-

неры (760 К) в сочетании с большим давлением (10^7 Па)* практически исключают возможность пребывания там человека (во всяком случае, по современным представлениям).

Многочисленные эксперименты, проведенные на спускаемых аппаратах станций «Венера», показали, что на высотах между 40 и 50 км от ее поверхности давление и температура примерно соответствуют земным. Кроме того, на высоте около 49 км заканчивается облачный покров и видимость становится удовлетворительной. Таким образом, спускаемый аппарат, выполненный в виде заполняемого гелием баллона и останавливающийся при снижении в атмосфере Венеры на высоте, соответствующей земным температуре и давлению, смог бы стать уникальным средством для пребывания людей на этой до сих пор загадочной планете. Возможность регулирования высоты полета в зависимости от изменения давления, свободного перемещения вдоль поверхности планеты, сбрасывания на поверхность и запуска в вышележащие слои атмосферы радиозондов и, наконец, использования окружающей среды для вентиляции и жизнедеятельности (путем выделения кислорода из углекислого газа атмосферы) создает условия для пребывания экипажа на Венере более комфортные, чем на Марсе.

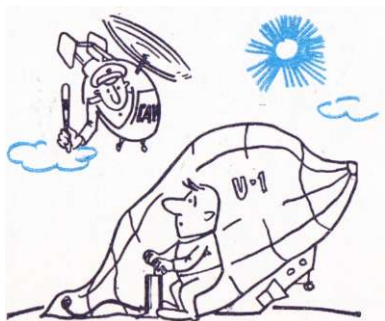
К этому необходимо добавить, что отработка такого летательного аппарата может быть проведена в земных условиях. И наконец, возможно применение на первом этапе автоматических аппаратов подобного типа. Такие аппараты, очевидно, будут более просты, чем существующие автоматические спускаемые аппараты, достигающие поверхности Венеры.

Заканчивая раздел об аппаратах, использующих «даровую», по словам К. Э. Циолковского, силу Архимеда, аппаратах, работа которых практически не приводит к загрязнению окружающей среды, можно еще раз сказать об их «многоликой» применимости. Это и самые дешевые транспортные средства, и универсальные атмосферные лаборатории, и первые ступени космических ракет-носителей и, наконец, уникальные лаборатории, которые могут оказаться незаменимым средством для исследования многих планет Солнечной системы.

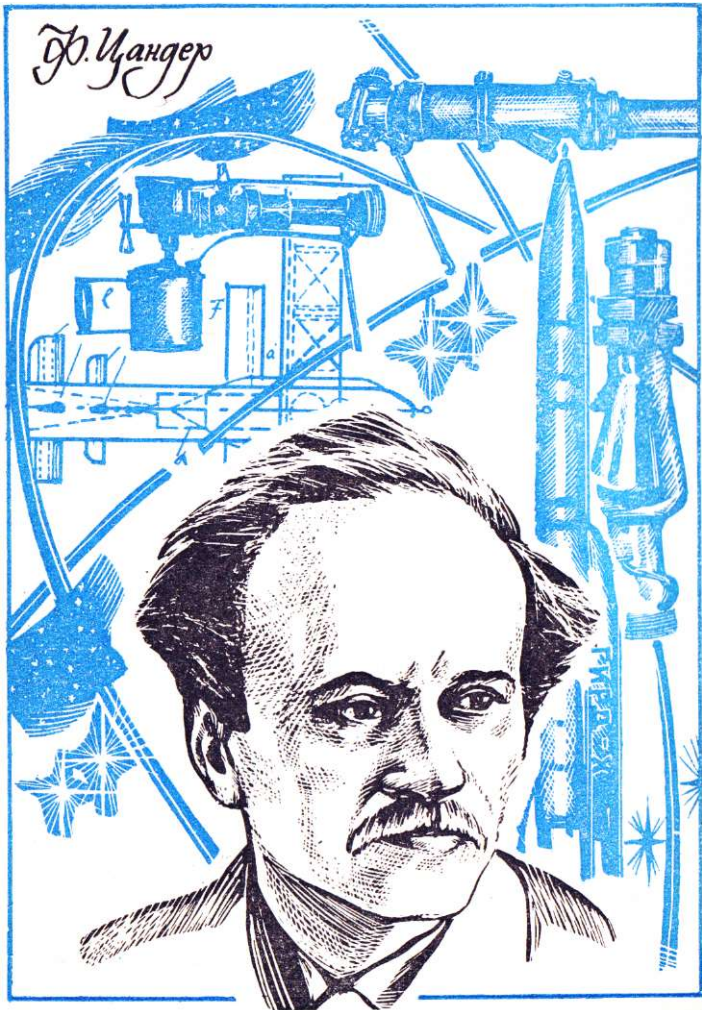
* 1 Па равен 1 Н/м^2 . Давление атмосферы на поверхности земли 10^5 Па.

Хорошо известно, что не только Венера, но и такие планеты, как Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун имеют мощную атмосферу. Атмосфера обнаружена (непосредственными наблюдениями или теоретически) у некоторых спутников планет. Ею обладают, например, так называемые галилеевские спутники Юпитера: Ио, Европа, Ганимед и Каллисто. Имеется атмосфера и у Титана — спутника Сатурна, и у Тритона — спутника Нептуна. Пока еще мало известно данных о составах и термодинамических параметрах этих атмосфер, однако, уже сейчас можно представить, что, по аналогии с земными условиями, атмосферы планет и их спутников будут затруднять, если не предусмотреть их специальное использование, возможность покидания этих небесных тел ракетными летательными аппаратами, уносящими пробы грунта, автоматические зонды или даже персонал будущих экспедиций. Один из рациональных способов использования атмосферы — создание аппаратов аэростатического типа или комбинированных систем, применяющих также самолетные, вертолетные или атмосферно-реактивные методы создания тяговых усилий в дополнение к аэростатическим.

Напомним, что К. Э. Циолковский, предвидя широкие возможности использования в будущем аппаратов «легче воздуха», говорил, что все затраты по созданию и строительству дирижаблей будут возмещены даже в том случае, если они будут изготавливаться из «чистого золота».



Ф. Цандер



6. ЧТО ТАКОЕ ВНЕШНИЕ РЕСУРСЫ?

Подъем аэростата в атмосфере Земли или удержание дирижабля в равновесии — типичный пример использования внешних ресурсов. В данном случае атмосфера Земли играет роль преобразователя градиента земного гравитационного поля в вертикальный градиент атмосферного давления. Иначе говоря, используется энергия гравитационного поля Земли.

К внешним, т. е. не запасаемым на борту летательного аппарата ресурсам, можно отнести электростатическое и магнитное поля Земли, различные виды энергии атмосферы (механическую, тепловую, химическую и т. п.), энергию солнечного излучения, а также термоядерную энергию, которая потенциально сосредоточена во влаге, содержащейся в земной атмосфере.

Даже сами по себе внешние космические массы — от мельчайших частиц мироздания (нейтрино, электронов, протонов, нейтронов и т. п.) и до скоплений галактик — также могут считаться «внешними» неиссякаемыми кладовыми ресурсов, необходимых для перемещения космических летательных аппаратов.

Таким образом, внешними ресурсами космических тяговых систем считают инертные массы и энергетические источники, которые не запасаются на борту летательного аппарата, но могут использоваться для его движения, для создания тягового усилия.

Деление внешних ресурсов на массовые и энергетические условно, так как это два эквивалентных понятия: 1 кг массы эквивалентен $9 \cdot 10^{13}$ кДж энергии в соответствии с известным соотношением специальной теории относительности

$$E = mc^2 = 9 \cdot 10^{13} \text{ кДж/кг},$$

определяющим потенциальную энергию любой массы покоя. Реально любое тело имеет несколько большую энергию, так как в нее входят тепловая энергия, энергия химических связей, магнитная энергия и т. п.

Ранее были перечислены некоторые виды энергии околоземного пространства, составляющие как бы потенциальную энергию

атмосферы. Возможность использования этих видов энергии в космических тяговых системах уже становится предметом изучения и даже фигурирует в нескольких выполненных проектах космических кораблей будущего. Тем более интенсивно ведутся работы по исследованию возможности использования в тяговых системах внешних ресурсов массы пока только в качестве рабочего тела реактивных двигателей. Проблема высвобождения потенциальной энергии из массы покоя, например за счет аннигиляции, еще ждет своего решения.

Интересно, что предложения по использованию внешних ресурсов стали появляться практически одновременно с предложениями о космических полетах. И это не случайно — ведь космонавтика создавалась вслед за воздухоплаванием и авиацией.

Основоположник идей о возможности использования в космической энергетике внешних ресурсов К. Э. Циолковский*.

Ю. В. Кондратюк, С. П. Королев, В. П. Глушко, Ф. А. Цандер и другие также уделяли этой проблеме много внимания, особенно в двадцатые — тридцатые годы нашего столетия. Особое место занимают работы советского инженера Ф. А. Цандера, который первый предложил использовать крылья для подъема космических ракет в атмосфере и для спуска космических аппаратов на Землю и планеты, воздушно-реактивные двигатели для этих же целей, устройства для приема и преобразования солнечной энергии, электростатическую зарядку космического корабля и использование электростатических движущих сил, гравитационного притяжения планет и т. п. Все эти предложения направлены на решение одной проблемы — отыскание наиболее доступных и рациональных путей осуществления космических полетов человека. Идеи Ф. А. Цандера послужили отправной точкой многочисленных современных исследований по использованию внешних ресурсов массы и энергии для увеличения эффективности ракетно-космической техники будущего.

«Деятельность и личность Фридриха Артуровича Цандера не могут не вызвать невольного восхищения...» — так писал об этом инженере и ученом первый космонавт Земли Юрий Гагарин.

* И. И. Гвай. О малоизвестной гипотезе Циолковского. Калуга, Калужское книжное издательство, 1959.

В настоящее время многие из предлагавшихся методов использования внешних ресурсов уже осуществлены или находятся в стадии осуществления. Так, земная атмосфера используется для торможения спускаемых аппаратов при возвращении их из космоса, создания подъемной аэростатической силы (запуск ракет с аэростатов), увеличения эффективности тяговых систем (использование аэродинамического качества, применение в проектах будущих систем химических, ядерных и электрических воздушно-реактивных двигателей и тяговых систем с накоплением атмосферных газов, использование тепловой энергии атмосферы).

Существуют многочисленные проекты использования солнечного излучения для непосредственного создания тягового усилия (солнечный парус) или для получения механической, тепловой, электрической и других видов энергии.

Находит практическое применение использование гравитационного поля планет для дополнительного ускорения или изменения плоскости орбиты летательных аппаратов, околоземного магнитного и гравитационного полей для ориентации летательных аппаратов и т. п.

Естественно, что по аналогии с земными могут использоваться атмосферные и другие ресурсы остальных планет Солнечной системы, Солнца, межпланетного и межзвездного пространства.

Все эти проекты и реализованные системы объединяет одна общая особенность — они предполагают использование внешних ресурсов в дополнение к бортовым ресурсам массы и энергии. Использование внешних ресурсов наряду с бортовыми массово-энергетическими ресурсами можно назвать *первым этапом* увеличения эффективности космических тяговых систем.

Вторым этапом увеличения тяговой эффективности, радиуса действия и времени работы тяговых систем можно считать, по-видимому, использование внешних массово-энергетических ресурсов только в качестве дополнения к бортовым энергетическим ресурсам. Это будет означать, что создание энергоемких и компактных бортовых ядерно-энергетических устройств существенно увеличит время работы и дальность полетов подобных аппаратов в пределах Солнечной системы, поскольку эти параметры определяются в основном бортовыми запасами реактивной массы. Отказ

от бортовых запасов реактивной массы будет означать также возможность дальнейшего увеличения количества транспортных операций по трассе Земля — орбита при ограниченном расходовании земных ресурсов. Возможности создания таких тяговых систем изучаются уже в настоящее время.

Третий этап в использовании внешних ресурсов в космических тяговых системах будет характеризоваться отсутствием начальных (стартовых) бортовых запасов массы и бортовых аккумуляторов энергии, предназначенных для создания тяговых усилий.

В летательных аппаратах, работающих по этому принципу, вся необходимая для движения энергия и реактивная масса черпаются извне и не сосредотачиваются на борту перед стартом. Примером системы такого типа могут служить проекты кораблей с «солнечным парусом», стартующих с околоземных орбит.

Однако подобные системы принципиально применимы не только в межпланетном пространстве, но и для подъема летательного аппарата в космос непосредственно с поверхности Земли. Иначе говоря, внешних ресурсов массы и энергии в принципе достаточно для преодоления земного притяжения и аэродинамического сопротивления атмосферы. Поясним это на примере.

Т а б л и ц а

Удельная объемная энергия околоземного пространства, Дж/м³

Высота, км	Вид энергии					
	Термоядерная	Конденсации и кристаллизации O ₂ и N ₂	Тепловая	Механическая (струйные течения и турбулентность)	Химическая	Суммарная
0	8·10 ⁵	2·10 ⁵	1,5·10 ⁵	70	20	1,1·10 ⁶
10	5·10 ⁵	10 ⁵	6·10 ⁴	1,1·10 ⁻²	9	6,6·10 ⁵
50	10 ³	2·10 ²	10 ²	0,7	0,3	1,3·10 ³
100	50	0,2	0,06	2·10 ⁻³	0,9	51
150	0,9	< 10 ⁻³	1,5·10 ⁻³	0	10 ⁻¹	1,0
200	0,2	0	0	0	10 ⁻²	0,2
250	0,07	0	0	0	3·10 ⁻³	0,07

В таблице приведено энергосодержание 1 м^3 атмосферы (удельная объемная энергия атмосферы) в зависимости от высоты над поверхностью Земли. Как видно из таблицы, основная энергия заключена в содержащемся в атмосфере водяном паре, поскольку из него можно выделить водород, который затем использовать в реакции термоядерного синтеза.

В настоящее время широкое распространение в авиации получили ВРД. Принцип их действия заключается в том, что они захватывают атмосферный воздух, который за счет подводимого к нему тепла разгоняется внутри двигателя и создает реактивную тягу. Тепло выделяется при сгорании в пропускаемом через двигатель воздухе горючего, чаще всего керосина, но может быть получено и от других источников. Например, существуют проекты ВРД, использующие ядерную энергию. Можно, очевидно, представить и термоядерный принцип получения энергии внутри такого устройства.

Посмотрим, достаточна ли термоядерная энергия, заключенная в земной атмосфере, для преодоления инерционного, гравитационного и аэродинамического сопротивлений при выведении летательного аппарата в космос?

Заметим предварительно, что удельная потенциальная энергия $E_{y.n}$ сообщаемая 1 кг массы, выводимой в космос на бесконечное расстояние от Земли, выражается соотношением (в Дж/кг)

$$E_{y.n} = - \gamma M_3 / r,$$

т. е. численно равна так называемому гравитационному потенциалу Земли ($\gamma = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3/(\text{кг} \cdot \text{с}^2)$ — гравитационная постоянная; $M_3 = 5,98 \cdot 10^{24} \text{ кг}$ — масса Земли; r — начальное расстояние от центра Земли до объекта, т. е. радиус, на котором определяется гравитационный потенциал; для поверхности Земли в средних широтах $R_3 = 6371110 \text{ м}$).

Кроме того, летательный аппарат приобретает кинетическую энергию, удельное значение которой равно (в Дж/кг)

$$E_{y.k} = v^2 / 2.$$

Таким образом, суммарная удельная энергия (без учета за-

трат на аэродинамическое сопротивление) равна (в Дж/кг)

$$E_{y\text{з}} = -\gamma M_3/r + v^2/2.$$

Равенство потенциальной и кинетической энергии летательного аппарата означает, что он приобрел скорость отрыва $v_{\text{отр}}$, или вторую космическую скорость. Удельная энергия аппарата, имеющего вторую космическую скорость, равна (в Дж/кг)

$$E_{y v_{\text{отр}}} \approx \gamma M_3/R_3 \approx v_{\text{отр}}^2/2 \approx 6,25 \cdot 10^7.$$

Минимальная энергия космического полета реализуется при движении летательного аппарата по круговой орбите на высоте

$H=150$ км (на более низких высотах велико аэродинамическое сопротивление и стабильный полет невозможен). Расстояние от центра Земли в этом случае составляет $r=6,53 \cdot 10^6$ м.

Поскольку в таком полете сила гравитации и центробежная сила уравновешены, можно определить первую космическую скорость и удельную энергию такого полета

$$M_{\text{л.а}} v/r = \gamma M_{\text{л.а}} M_3/r^2,$$

отсюда (в Дж/кг)

$$v^2/2 = \gamma M_3/2r \approx 3,13 \cdot 10^7.$$

Энергия полета по орбите ИСЗ довольно велика: 1 кг массы обладает примерно такой же кинетической энергией, что и идущий на большой скорости пригородный электропоезд.

Заметим, что в применяемых сейчас баллистических ракетах реальные затраты энергии выведения полезного груза на орбиту превышают $3,13 \cdot 10^7$ Дж/кг примерно на 10—20% (8—10% на преодоление гравитации, 1—5% на преодоление аэродинамического сопротивления, 1—5% на управление). Но это только в том случае, если расчет ведется по массе летательного аппарата, выведенного на орбиту.

Фактически же при выведении на орбиту любой массы современными средствами возникает необходимость попутно разгонять ракетные блоки и находящееся в них топливо. На это и уходит основная доля (примерно 90%) энергии, заключенной в топливе стартующей ракеты.

Естественно, что летательный аппарат, использующий не бортовые, а только внешние ресурсы массы и энергии, должен быть *одноступенчатым и многоразовым*, поскольку такой аппарат наиболее эффективен как в эксплуатационном, так и в экономическом отношении. С учетом сделанных выше замечаний получаем, что удельная массовая энергия, необходимая для выведения такого летательного аппарата на орбиту высотой 150 км, выразится числом $3,5 \cdot 10^7$ Дж/кг.

Располагаемая мощность при использовании внешней энергии атмосферы, которая будет ежесекундно выделяться в преобразователях (в первую очередь, в термоядерном реакторе), будет, очевидно, связана со скоростью полета следующим выражением (в Дж/с):

$$E = E_{\text{ТЯ}} \nu S_{\text{ВХ}}$$

Для удельного массового расхода энергии [в Дж/(кг·с)] справедлива формула

$$E_y = E_{\text{ТЯ}} \nu S_{\text{ВХ}} / M_{\text{Л.А.}}$$

которая определяет выделение энергии за 1 с, приходящейся на 1 кг массы аппарата. В этой формуле $E_{\text{ТЯ}}$ — термоядерная энергия атмосферы, Дж/м³ (см. табл.); ν — скорость полета, м/с; $S_{\text{ВХ}}/M_{\text{Л.А.}}$ — отношение эффективной входной (или в пределе — мидельной S_m) площади летательного аппарата к его массе. Примечательно, что отношение $S_m/M_{\text{Л.А.}}$ для существующих конструкций летательных аппаратов и ВРД (включая ИСЗ, корабли-спутники, незаправленные ракетные блоки, самолеты разных типов, вертолеты) сохраняет примерно постоянное значение (в м²/кг)

$$S_m / M_{\text{Л.А.}} = 10^{-3}.$$

С учетом того, что применяется турбокомпрессорный принцип работы ВРД, позволяющий двигателям работать при $\nu = 0$ (аналогично двигателям современных реактивных самолетов), а также того, что потери во входном устройстве, тепловые и другие поте-

ри могут составлять в сумме 90% (т. е. эффективный КПД равен 10%), *располагаемая энергия оказалась примерно равной потребляемой энергии* для выведения летательного аппарата на низкую околоземную круговую орбиту. Иначе говоря,

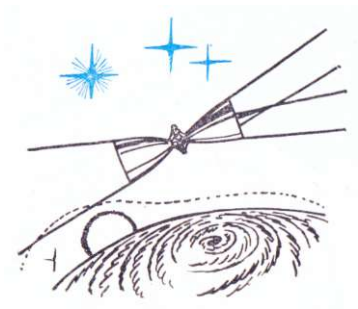
$$E_y = \int_{t=0}^{t_k} E_{Tя}(H) v(H) \cdot 10^{-3} \cdot 0,1 dt \approx 3,5 \cdot 10^7 \text{ Дж/кг.}$$

В этих расчетах зависимость $H = H(t)$ подбиралась оптимальной, т. е. траектория была несколько более пологой, чем для современных баллистических ракет. Кроме того, расчеты проводились в предположении, что на борту имеются аккумуляторы энергии и массы (буферные аккумуляторы, насыщаемые в процессе выведения летательного аппарата на орбиту). Последнее оказалось необходимым для осуществления заключительного этапа выведения, на котором недостаток внешних ресурсов компенсируется их избытком на низких высотах. Наличие на борту аккумуляторов внешней массы, устройств, необходимых для обеспечения процесса ее аккумуляции, а также аккумуляторов внешней энергии (в данном случае речь идет об аккумуляции и отделении на борту водородсодержащих компонентов атмосферы) требует, естественно, расходования энергии в процессе выведения. Все это и было учтено в принятом значении усредненного КПД, который на начальном участке полета превышает свое среднее значение (10%), а на конечном — меньше этого значения. Очевидно, на рассмотренных принципах может работать не только одноступенчатый, но и двухступенчатый летательный аппарат, имеющий аккумуляторы только на второй ступени.

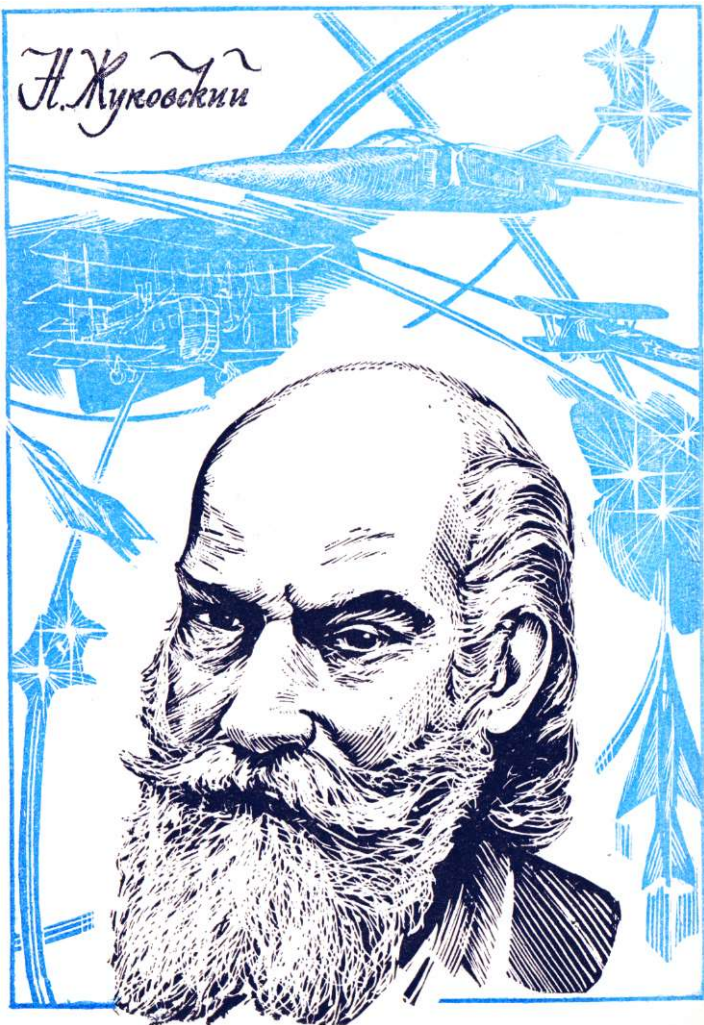
Результат расчетов весьма примечателен.

Оказывается, могут быть созданы летательные аппараты, способные выходить в космос только за счет внешних (атмосферных) ресурсов энергии и реактивной массы. И не только выходить в космос, но и перемещаться в пределах земной атмосферы в любых направлениях, на любых высотах, находиться в полете практически неограниченное время! Вот что может дать использование в космических летательных аппаратах внешних ресурсов.

Естественно, что и у других планет Солнечной системы, имеющих атмосферу, есть свои ресурсы массы и энергии, которые также могут быть использованы для создания тяговых усилий. Однако количественные значения, определяющие эффективность их использования, пока еще в полной мере не исследованы.



И. Жуковский



7. АВИАЦИЯ – КОСМОНАВТИКА

В 1912 году научная общественность России широко отмечала 60-летие со дня рождения и 40-летие преподавательской деятельности профессора механики Московского университета Н. Е. Жуковского. К этому времени Н. Е. Жуковский — признанный всеми специалист в области аэродинамики и авиации. Он избирается почетным членом ряда вузов, в частности Рижского политехнического института, в котором в то время учился Ф. А. Цандер.

Позднее в подписанном В. И. Лениным 3 декабря 1920 года Постановлении Совета Народных Комиссаров Н. Е. Жуковский назван «отцом русской авиации».

В настоящее время, когда опыт современной авиации становится достоянием космонавтики, творческое наследие Н. Е. Жуковского, состоящее из более чем 220 научных работ, приобретает новое значение. Особое место занимают его капитальные труды по теории реактивного движения.

В предыдущем разделе мы увидели, что использование внешних ресурсов массы и энергии позволяет летательному аппарату перемещаться в пределах земной атмосферы (до высоты 100 км) и даже выходить в космос (до высоты 150 км), приобретая соответственно и космические скорости полета. При этом речь шла об использовании только одного вида энергии, а именно заключенной в атмосфере потенциальной термоядерной энергии связанного водорода. В таблице приведены и другие виды энергии, которые так или иначе могут быть использованы для движения летательного аппарата, но их величина меньше величины термоядерной энергии, поэтому и применение таких видов энергии, как механическая, тепловая, конденсации, возможно, скорее всего, на малых высотах (до 25 км), т. е. высотах, освоенных современной авиацией.

Говоря о ракетах будущего, мы применяли три термина, характеризующие летательные аппараты различного типа. Термин *воздухоплавание* применялся в своем первоначальном виде только для летательных аппаратов «легче воздуха», таких, как аэрос-

таты, дирижабли, шары-баллоны и т. п. Для воздухоплавания характерны легкие, наполняемые гелием или водородом конструкции большого объема, низкие (дозвуковые) скорости полета. Термин *авиация* применяется в настоящее время к летательным аппаратам, опирающимся при полете на атмосферу Земли. Для авиации характерно многообразное использование материальной части, умеренные скорости полета, начиная от малых дозвуковых и вплоть до превышающих звуковые в 3—4 раза, умеренные высоты полета (до 40 км), использование внешних атмосферных ресурсов в тяговых устройствах и как опорной среды при полете. Современная авиация — широко и всесторонне развитая отрасль техники и народного хозяйства, а сами авиационные средства представляют собой широкий спектр технических устройств, использующих различные принципы полета. Существуют самолеты, вертолеты, комбинированные средства, разработанные как для решения различных специальных задач, так и для универсального применения.

Термином *космонавтика* обозначают в настоящее время успешно развивающуюся новую отрасль техники и народного хозяйства. Космонавтика первоначально имела дело с летательными аппаратами (ракетами), которые для своего движения использовали только бортовые запасы массы и энергии (бортовые массово-энергетические ресурсы), применялись однократно, но зато могли достигать космических скоростей полета — около 8000 м/с (что на высоте 150 км в 28 раз больше скорости звука). Трассы запуска, а также масса и габаритные размеры полезного груза для каждой ракеты были строго фиксированы. Иначе говоря, универсальных космических ракет первоначально не было.

Таким образом, на заре развития космонавтика существенно отличалась от авиации. В настоящее время космонавтика освоила и успешно применяет для посадки спускаемых аппаратов в атмосфере Земли и атмосферах других планет такое сугубо авиационное средство, как парашют, появились проекты космических ракет-носителей, у которых на первых ступенях устанавливаются ДУ, использующие внешние (атмосферные) массово-энергетические ресурсы. Космонавтика освоила все авиационные скорости и высоты полета. Космические летательные аппараты постепенно,

начиная с кораблей «Союз» (СССР) и «Аполлон» (США), приобретают свойства авиационных конструкций. Так, и «Союз», и «Аполлон» могли использовать при входе в атмосферу аэродинамическое качество.

Строится американский многоразовый космический аппарат по программе «Космический челнок», орбитальная ступень которого* не только рассчитана, подобно авиационным конструкциям, на многократное использование, но и по своей конструкции и аэродинамической компоновке напоминает современный самолет-бесхвостку. В частности, такую компоновку имеет широко известный советский сверхзвуковой самолет «Ту-144».

Все это говорит о том, что современная космонавтика, постепенно совершенствуясь, все более и более сближается с авиацией.

Однако и авиация использует уже достаточно богатый «космический» опыт. Применение ракетных топлив, ракетных двигателей, «космических» материалов, ракетных ускорителей (по сути дела, ракетных первых ступеней) позволяет современной авиации штурмовать огромные высоты (до 100 км), осваивать невиданные ранее скорости полета, приближающиеся к космическим. Особенно важно отметить, что современная авиация все более и более внедряет принципы автоматического управления, уже зарекомендовавшие себя в космонавтике. Бортовые цифровые вычислительные машины, а также аналоговые и моделирующие устройства в сочетании с новыми видами тренажеров позволяют существенно повысить надежность самолетов и облегчить труд пилотов.

Вот почему наметившаяся тенденция сближения авиации и космонавтики будет, по-видимому, продолжаться и дальше. Об этом говорят многочисленные проекты летательных аппаратов будущего, имеющие черты как авиационных, так и космических конструкций. То же самое можно сказать и о принципах их функционирования. Можно считать, что основной проблемой, которая должна быть решена при создании будущих ракетно-космических конструкций, является проблема их универсальности и многообразности. Такие факторы, как: необходимость в настоящее время для каждого нового космического запуска изготавливать новую ракету-

* В 1977 году эта ступень прошла летные испытания в атмосфере.

носитель, разрабатывать новую модификацию ракеты при изменении (порой даже незначительном!) массы, габаритных размеров, координат центра тяжести полезного груза, необходимость выделять огромные «зоны отчуждения» для падения отработавших блоков и других элементов ракеты, невозможность устранить даже малейшую неисправность, возникшую в автоматическом космическом аппарате при его работе в космосе, высокая стоимость разработки и изготовления космических конструкций — все это не позволяет пока космонавтике сделаться массовым, удобным и рентабельным компонентом производственной деятельности людей. До сих пор любой космический запуск остается уникальным явлением современного научно-технического прогресса.

Универсальность и многообразие — две стороны одной и той же проблемы. Создавая, например, многоэтажный ракетный блок, т. е. решая проблему его сохранения в полете и при посадке на Землю, можно одновременно решить и проблему универсальности его полета по различным азимутам при выведении. Проектируя ракету многоэтажной, т. е. рассчитывая на ее многократное использование в течение определенного времени, надо предусматривать ее применение для выведения полезных грузов различных по массе, габаритным размерам, составу, центровка (расположению центра тяжести), жесткости (степени деформируемости под нагрузками) и т. п. Иначе говоря, многоэтажность ракеты в какой-то степени предопределяет ее универсальность.

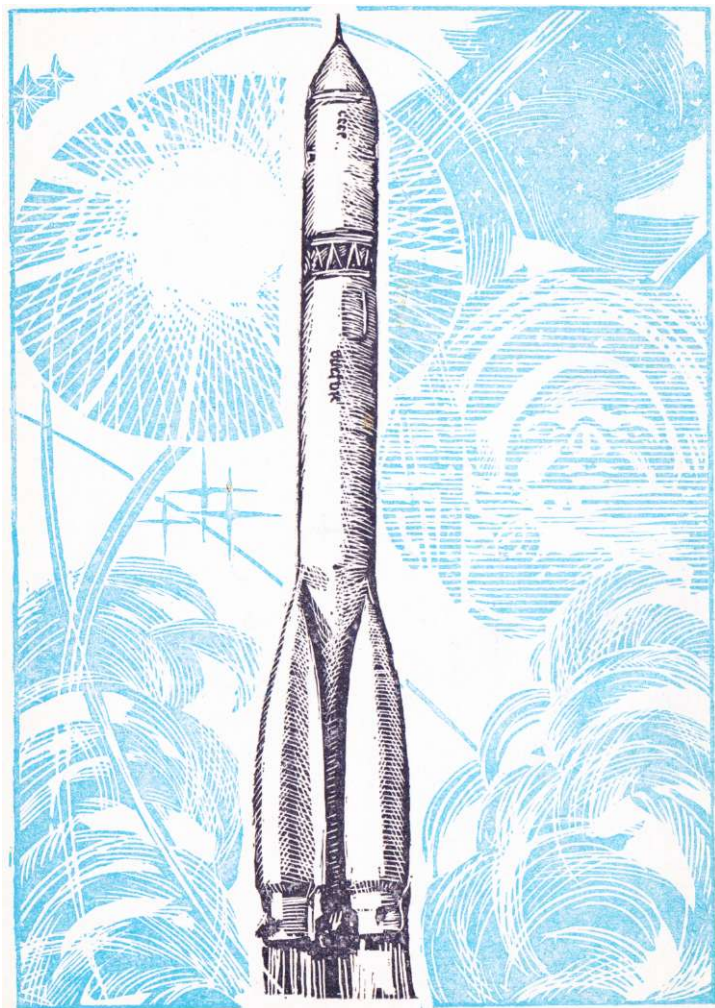
В заключение раздела небезынтересно отметить, что еще К. Э. Циолковский писал о космонавтике и авиации*: «Звездоплавание нельзя и сравнивать с летанием в воздухе. Последнее — игрушка в сравнении с первым». Он первый высказал мысль о возможности многоэтажного принципа использования разгонных ступеней*: «Вообще, совершив свое дело, т. е. отправив последнюю ракету в космическое путешествие, все остальные ракеты, какой бы то ни было системы, пролетев более или менее длинный путь в атмосфере, планируя, спускаются на сушу или воду и опять могут служить для того же». Вот что К. Э. Циолковский писал об использовании в космических ракетах внешних ресур-

* К. Э. Циолковский. Космические ракетные поезда. Калуга, 1929,

сов*: «Реактивными приборами я занимаюсь с 1895 г. И только теперь, в конце 34-летней работы, я пришел к очень простому выводу относительно их системы». И далее: «Обратим внимание на то, что мы принимаем запас горючего в четыре тонны. Если же мы сумеем воспользоваться хоть отчасти кислородом воздуха, то достаточно будет взять одну тонну горючего. Значит, у нас будет экономия в три тонны. Такая масса может послужить для самых разнообразных целей». К. Э. Циолковский пишет о возможности создания первых или разгонных ракетных ступеней в виде самолетных конструкций, использующих аэродинамические силы, внешнюю массу для создания тяги, накопления атмосферных компонентов в плотных слоях атмосферы, и их использования в верхних разреженных слоях для создания реактивной тяги*.

* К. Э. Циолковский. Космические поезда. Калуга, 1929.





8. ЭФФЕКТИВНОСТЬ, ТЕРМОДИНАМИКА И КОСМИЧЕСКИЙ ТУРИЗМ

Путь в космос лежит через атмосферу. Это и хорошо, и плохо. Хорошо потому, что атмосфера может служить опорной средой для тяговой системы, рабочим телом и источником энергии для ДУ, охлаждающим компонентом и рабочей средой для энергетических агрегатов, источником тепловой энергии для ДУ и энергосистем, использующих запас холода криогенных компонентов, размещаемых на борту, и т. п.

Но в то же время атмосфера в настоящее время считается одним из основных препятствий на пути в космос. Поясним это подробнее.

При полете в атмосфере возникает *аэродинамическое лобовое сопротивление* полету. Сначала оно растет из-за увеличения скорости движения ракеты, а затем после достижения так называемых максимальных скоростных напоров начинает падать вследствие уменьшения плотности атмосферы с высотой. В среднем из-за наличия аэродинамического лобового сопротивления массовая отдача, т. е. отношение массы выводимого полезного груза к полной стартовой массе ракеты, уменьшается на 3—5%.

Аэродинамическое лобовое сопротивление приводит к возникновению *аэродинамических нагрузок*, т. е. изменяющихся во время полета распределенных давлений, действующих на все обтекаемые внешним потоком поверхности. Возникает необходимость ради нескольких секунд полета ракеты на максимальных скоростных напорах существенно упрочнять и утяжелять ее конструкцию, а также предусматривать специальные обтекатели для полезного груза, антенн и других элементов. Уменьшение массовой отдачи вследствие аэродинамического нагружения составляет в среднем 7%.

При работе ДУ возникает *акустическое нагружение* элементов ракеты, вызванное акустическим излучением от сверхзвуковых струй. Особенно интенсивным оно бывает в первые секунды полета, а при достижении ракетой звуковой скорости практически ис-

чезает совсем. Характерно, что относительная доля акустической энергии, передаваемой ракете от струй, растет с увеличением ее размеров. В связи с этим и снижение массовой отдачи растет с увеличением размеров и стартовой массы ракеты. Так, для легких ракет, предназначенных для выведения 10 т полезного груза, эта потеря составляет всего 1%. Для тяжелых ракет типа американской ракеты «Сатурн-5», выводящей около 100 т полезного груза, потери составляют уже примерно 5%. И наконец, расчеты показывают, что при создании сверхтяжелой ракеты, выводящей 1000 т полезного груза, эти потери составят 25%. При дальнейшем увеличении размеров и стартовой массы ракет эти потери возрастут, делая невозможным, например, создание работающей по современным принципам ракеты*, выводящей, скажем, 10 000 т полезного груза.

При разгоне ракеты в атмосфере из-за возникновения турбулентности в пограничном слое потока, обтекающего ракету, возникает *сопротивление трению* и так называемые *псевдоакустические пульсации давления*, борьба с которыми, а также необходимость звукоизоляции обитаемых отсеков приводит к потерям примерно 1% массы выводимого полезного груза. Для легких ракет это число меньше. Потери растут с увеличением размеров ракет, достигая для сверхтяжелых аппаратов (масса полезного груза 1000 т) 4%.

Псевдоакустические пульсации могут вызвать упругорезонансные колебания обшивки ракеты (так называемый панельный флаттер), которые недопустимы.

При полете с околосвуковыми скоростями происходит перестройка потока в носовой части ракеты и на выступающих элементах. Давление в этих зонах изменяется скачкообразно, создавая резкие ударные нагрузки на конструкцию. Потери в полезном грузе из-за бафтинга (так называется это явление) составляют около 1%, увеличиваясь для сверхтяжелых ракет до 3%.

При полете в атмосфере с высокими сверхзвуковыми скоростями происходит *аэродинамический нагрев*, требующий подбора необходимых толщин конструкционных материалов или примене-

* Ракета с ЖРД, работающая на двухкомпонентном жидком топливе.

ния теплоизоляции. Потери массы полезного груза составляют при этом 0,1—0,2%.

Если в ракете применены криогенные топливные компоненты, например жидкие водород и кислород (пара компонентов, предложенная еще К. Э. Циолковским), то необходимы мероприятия, предотвращающие или компенсирующие передачу тепла из атмосферы к этим компонентам. Если компоненты не теплоизолированы, то они начинают кипеть, и необходима подпитка баков перед стартом из наземных емкостей. При полете первой ступени баки последующих ступеней могут подпитываться от первого (разгонного) ракетного блока, но это требует сложных бортовых коммуникаций. Чаще приходится мириться с непроизводительными потерями компонентов в полете. Эти потери можно исключить, используя так называемые переохлажденные компоненты, однако при таком способе требуется теплоизоляция баков. В среднем потери в массовой отдаче составляют 0,5—1 % независимо от способа хранения криогенных компонентов или подпитки баков. Следует подчеркнуть, что это только потери из-за передачи тепла от атмосферы, поскольку криогенные компоненты требуют реализации и других мероприятий по обеспечению их забора из бака, по наддуву бака и т. п., что также связано с потерями, которые, однако, не являются предметом нашего рассмотрения, так как не характеризуют именно атмосферный участок полета.

Примерно 0,5% потерь в массовой отдаче связано с ветровым нагружением ракеты во время предстартовой подготовки. *Ветровое воздействие* на летящую ракету приводит не только к ее дополнительному нагружению, но и требует энергетических и массовых затрат на управление ею, приводя к относительной потере полезного груза или, что то же самое, к снижению массовой отдачи на 1,5—2%. Эти потери существуют всегда, даже при запусках в безветренную погоду, так как на высотах 9—12 км всегда существуют так называемые струйные течения. Кроме того, конструкция современной ракеты рассчитана на предельно допустимые ветры, восходящие токи и возможную атмосферную турбулентность.

Подобная же добавка к массе стартовой ракеты делается из-за возможного изменения *термодинамических параметров ат-*

мосферы, например, из-за возможного увеличения ее плотности, определяющей потери на аэродинамическое сопротивление. Этот вид потерь обсуждался выше и определялся для так называемой стандартной атмосферы. Потери вследствие изменения термодинамических параметров в среднем равны 0,5%.

На атмосферном участке полета ракеты возникают газодинамические потери (причем очень значительные).

Донное сопротивление характерно для тяжелых, а тем более для сверхтяжелых ракет, имеющих сложные ДУ, состоящие из нескольких двигателей (в настоящее время для таких ракет используются в основной ЖРД и РДТТ). Донное сопротивление возникает из-за того, что на не занятые двигателями участки днища ракеты (для тяжелых и сверхтяжелых ракет площадь их составляет не меньше половины площади максимального поперечного сечения) действует давление, которое меньше давления атмосферы. Этот эффект возникает вследствие эжекции газа струями двигателей, из так называемого задонного пространства. Донное сопротивление, как правило, максимально в начале полета, а также на режиме, при котором скорость ракеты примерно равна скорости звука и постепенно уменьшается с уменьшением давления атмосферы при наборе высоты. На высотах больше 30 км может возникнуть *донный подпор* — дополнительная донная тяга, обусловленная взаимодействием истекающих струй между собой, вызывающим обратные потоки газов, которые и воздействуют на днище. Однако этот положительный эффект не может полностью компенсировать потери. Снижение массовой отдачи из-за донного сопротивления для легких ракет составляет около 3%, а для тяжелых и сверхтяжелых — 4—8% (в зависимости от выбранной компоновочной схемы ДУ).

Значительные потери в массовой отдаче (до 5%) вызваны *нерасчетностью истечения струй* из сопл двигателей. Дело в том, что тяга ракетного двигателя складывается из кинетического импульса, определяемого массой и скоростью истечения продуктов сгорания, и так называемой статической составляющей, равной произведению площади выходного сечения сопла на разность давлений: статического в выходном сечении сопла и окружающего в *невозмущенной полетом ракеты атмосфере*. Полет до момента ра-

венства этих давлений связан, таким образом, с потерями тяги ДУ.

Незначительные (порядка 0,1%) потери связаны с *затеканием воздуха в негерметичные отсеки ракеты* и необходимостью его разгона в этих отсеках при полете (разумеется, с учетом истечения этого воздуха при уменьшении окружающего давления).

Полет ракеты в атмосфере, а также ее предстартовое обслуживание требуют принятия ряда профилактических мер — *антикоррозионной защиты и обеспечения пожаровзрывобезопасности*, организация которых составляет соответственно 0,1—0,2 и 0,1—0,5% потерь в массовой отдаче.

Следует, наконец, сказать и о мероприятиях по сохранению атмосферы как одного из важнейших компонентов окружающей среды. Известно, например, что многочисленные проекты ракет с ядерными двигателями не получили развития именно из-за возможного загрязнения атмосферы радиоактивными веществами.

В последнее время проблема сохранения атмосферы приобретает все более важное значение, так как многочисленные индустриальные объекты, а также транспорт во все больших количествах поглощают атмосферный кислород, загрязняют атмосферу, нарушают ее тепловой баланс и газовый состав. Особенно угрожающе, как мы уже говорили, для сохранности земной атмосферы полеты ракет. По-видимому, полет тяжелых и сверхтяжелых ракет через озоновый слой должен сопровождаться максимально возможным дросселированием тяги их ДУ, что, естественно, приведет к снижению массовой отдачи. Возможен другой вариант — создание тяги за счет истечения газов, не приводящих к разрушению озонового слоя. Потери массы полезного груза от применения любого из этих мероприятий приближенно оцениваются в 10%.

Итак, мы рассмотрели компоненты относительных потерь массы полезного груза, обусловленные полетом космической ракеты-носителя через земную атмосферу. Оказалось, что эти потери в среднем равны для легких космических носителей 20—25%, для тяжелых 30—35% и для сверхтяжелых 55—60%. Если бы Земля не имела атмосферы, то *эффективность* современных космических ракет была бы соответственно выше.

Существуют два пути повышения эффективности космических

ракет — минимизация различных потерь, в том числе и перечисленных выше, а также использование атмосферы как полезного фактора. В качестве одного из *критериев эффективности* можно рассматривать массовую отдачу, т. е. отношение выводимого ракетой на условную орбиту груза к стартовой массе ракеты. Очевидно, что для сравнения ракет между собой по этому критерию необходимо установить высоту, эллипсность и наклонение условной орбиты. Такие *частные критерии эффективности*, как тяговая эффективность, аэродинамическая эффективность и т. п., служат для отыскания максимальной массовой отдачи проектируемой ракеты.

Универсальным самостоятельным (не связанным, например, с массовой отдачей) критерием является *надежность*, т. е. вероятность безотказной работы ракеты. Никто, по-видимому, не будет создавать ракету, имеющую высокую массовую отдачу, но низкую надежность работы.

Такой критерий, как *универсальность*, также не связан ни с массовой отдачей, ни с надежностью, т. е. тоже универсален и независим. Этот критерий может, например, показывать, какое количество полезного груза (по массе, размерам, центровкам и т. п.) может быть выведено в космос определенным количеством применяемых для этого типовых ракетных модулей (блоков).

Критерий *экономической эффективности* (экономичности) — понятие довольно обширное. Чаще всего в качестве такого критерия используют отношение выраженной в денежных единицах суммы преимуществ, получаемых в результате применения новой системы, к затратам, связанным с ее разработкой, созданием, эксплуатацией.

Но не все может быть выражено в денежных единицах. Особенно это относится к здоровью, благосостоянию, а также к жизни людей. Появляется критерий *социальной эффективности*, формула, а тем более количественное определение которого еще долгие годы будут представлять серьезную проблему для науки ввиду многогранности жизненных интересов и устремлений как отдельных людей, коллективов, так и человечества в целом.

Таким образом, не существует единого критерия для оценки эффективности космических ракет. Эффективность — понятие мно-

гогранное, об этом говорят приведенные выше примеры построения возможных критериев для сравнения ракет между собой. Эти же критерии помогают наметить программу совершенствования ракет, позволяют уже сейчас говорить о ракетах будущего. Иначе говоря, вопросы эффективности тесно связаны с вопросами прогнозирования.

Кроме того, общие проблемы прогнозирования и эффективности, проблемы критериев сравнения важны не только для ракетно-космической техники, но и для других областей деятельности людей. Вот почему эти проблемы можно изучать и разрабатывать самостоятельно — вне зависимости от ракетно-космической техники.

Одной из первых научных дисциплин, на основе которой стали изучать вопросы эффективности, стала *термодинамика*. В 1824 году молодой французский военный инженер Сади Карно опубликовал работу «Размышление о движущей силе огня», в которой обсуждались вопросы эффективности тепловых (в частности, паровых) машин.

Во второй половине XIX столетия термодинамика уже сформировалась как самостоятельная наука, изучающая тепловые явления и вопросы эффективности преобразования тепловой энергии в механическую.

В настоящее время термин «*термодинамика*» далеко не отражает всей полноты его истинного содержания, ибо термодинамический метод исследования широко применяется при изучении самых разнообразных физических и химических явлений, закономерностей информационных процессов, а также вопросов экономической эффективности. Казалось бы, старая классическая наука термодинамика неуклонно продолжает развиваться и совершенствоваться. Сложные явления природы и жизни общества как части природы характеризуются множественностью определяющих тот или иной процесс факторов или аргументов. Появляется необходимость развивать методы обобщенного анализа. Одним из таких методов, который успешно развивается в последние годы, является обобщенный метод термодинамического анализа. Естественно, вместе с новым содержанием он вбирает в себя и все уже имеющиеся достижения термодинамики. Как частное применение этого

метода, может быть рассмотрен обобщенный термодинамический анализ эффективности космических тяговых систем.*

Не останавливаясь на существовании этого анализа, скажем только, что он охватывает, в частности, исследование приведенных в начале этого раздела критериев эффективности, устанавливает дополнительные критерии, такие, например, как критерий энергетической эффективности, основанный на первом начале термодинамики, и критерий обратимости, основанный на втором ее начале. Как известно, первое начало — это закон сохранения энергии, а второе — закон установления наиболее вероятного состояния (закон возрастания энтропии). Второе начало иногда формулируют как закон рассеяния или обесценивания энергии, закон, по которому в ограниченных объемах Вселенной хаос торжествует над упорядоченностью.

Летающая ракета, во-первых, преобразует потенциальную энергию заключенного в ней топлива в кинетическую и потенциальную энергию полезного груза, а во-вторых, необратимо рассеивает при этом энергию в окружающее пространство.

Кроме тех потерь на атмосферном участке, которые были перечислены в данном разделе, можно упомянуть потери самих ракетных блоков, приобретающих к моменту разделения огромную энергию, потери топлива и т. п. Если бы ракетные блоки не теряли своих первоначальных свойств и возвращались к месту старта, а топливо и рабочее тело бралось из атмосферы (притом в таком количестве, которое восстанавливалось бы в ходе естественных природных процессов), то можно было бы говорить об *обратимости* ракет-носителей. Поскольку обратимых процессов и явлений в природе не существует (вечный двигатель невозможен!), говорят о частичной обратимости. В ракетной технике пример частичной обратимости — новое направление, основанное на обеспечении многоразовости материальной части и на использовании внешних ресурсов массы и энергии.

В заключение раздела целесообразно отметить, что анализ эффективности может и должен проводиться не только примени-

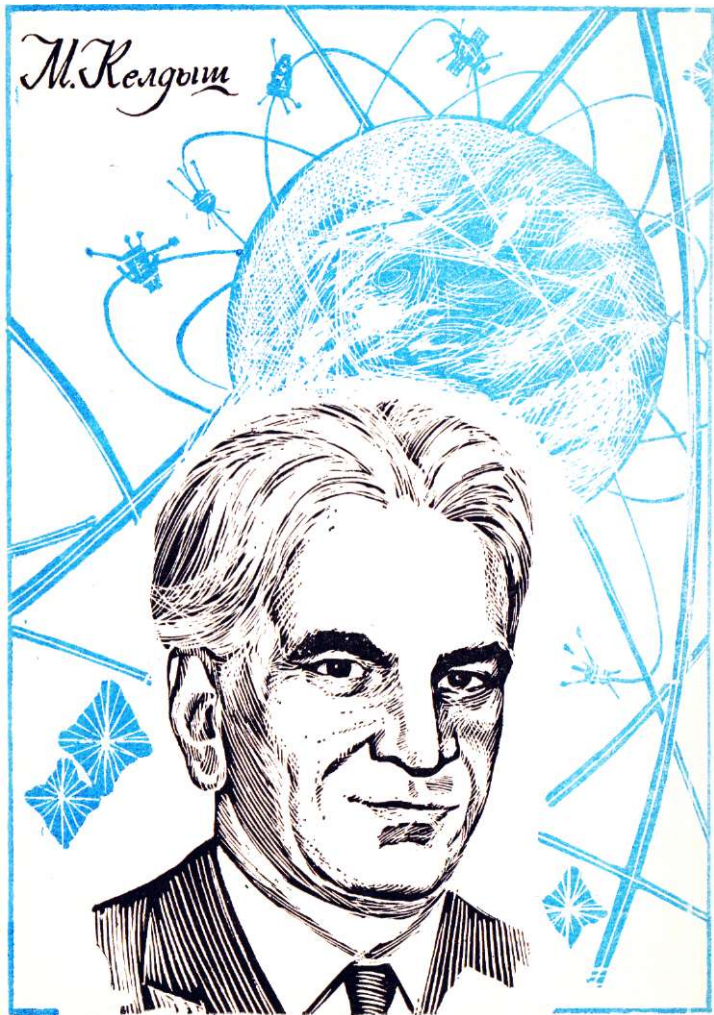
* В. П. Бурдаков, Ю. И. Данилов. Внешние ресурсы и космонавтика. М., Атомиздат, 1976.

тельно к какому-то одному типу летательного аппарата, но и к их совокупности. Например, можно проиллюстрировать эффективность той или иной космической программы. Возможно также оценить эффективность всей космической деятельности страны или даже группы стран. Наконец, обобщенный термодинамический анализ принципиально может позволить дать рекомендации в направлении повышения эффективности всей хозяйственной жизни общества. В частности, можно определить важность и целесообразные затраты на проведение работ в области исследования и освоения космоса.

По-видимому, работы по увеличению эффективности ракетно-космической техники приведут со временем и к возникновению космического туризма.



М. Кергум



9. ФИЗИКА НА СЛУЖБЕ КОСМОНАВТИКИ

Раздел под таким названием мы хотим посвятить роли научных исследований в создании космонавтики будущего.

«Громадное завоевание науки нашего века — осуществление полетов человека в космос. Теперь уже никто не сомневается, что человек сможет достигнуть других миров. Это позволит не только радикально умножить богатство наших знаний о Вселенной, но даст возможность использовать сокровища других миров для улучшения жизни на Земле» — эти слова написаны* крупнейшим организатором советской науки, бывшим президентом Академии наук СССР, академиком М. В. Келдышем в 1967 году, когда отмечался десятилетний юбилей отечественной и мировой космонавтики.

Организация научных исследований, организация своевременного внедрения достижений науки в повседневную практику людей — высшее проявление научного таланта, научной смелости, научной преданности. Многие не раз встречались с научной преданностью физиков — представителей, как иногда утверждают, «основы наук». В наш век глубокой специализации научных исследований подобное высказывание типично не только для физиков, но и для представителей других научных дисциплин. Мы живем в век кооперации, в том числе и кооперации научных исследований, Сколько мы знаем ученых, твердо убежденных, что подлинные научные открытия возможны лишь на стыках наук. Физическая химия, утверждают они, более обширная наука, нежели вся физика или химия, взятые в отдельности. Сюда же можно отнести и другие дисциплины-симбиозы: астрофизику, биофизику, биохимию и т. п.

В последние десятилетия стали развиваться и давать важные плоды не только двойственные союзы научных дисциплин, но и союзы, охватывающие многие отрасли знаний и работающие по единому плану.

* «Техника молодежи», № 10, 1967, с. 3.

Наконец, появились союзы науки с производством — научно-производственные объединения — самая новая и наиболее прогрессивная на данном этапе форма развития научной и научно-технической мысли. Космонавтика, которой в 1977 году исполнилось двадцать лет, с самого зарождения и до наших дней была и остается, как нам кажется, наиболее прогрессивной формой организации научных исследований, наиболее прогрессивной формой внедрения научных достижений в промышленность.

Естественно, что кроме научных проблем космонавтики существуют и другие «глобальные» проблемы, разработкой и решением которых будут заниматься большие коллективы ученых. Огромная роль в этом деле принадлежит ученым-организаторам, умеющим не только привлечь и заинтересовать, но и возглавить научный поиск, т. е. поставить задачу, назначить реальные сроки ее выполнения, реализовать полученные научные достижения в промышленных образцах новой техники. Именно такими учеными были всемирно известные академики И. В. Курчатов и С. П. Королев, которых только из-за консерватизма в терминологии научных дисциплин называли: первого — физиком, а второго — механиком. На самом же деле это были пионеры новых интегральных направлений в научных исследованиях, направлений, которым принадлежит будущее*.

Важно отметить, что конкретные космические программы, в том числе и международные, направлены на физические исследования.

Спутник «Интеркосмос-1» выведен на орбиту 14 октября 1969 года. Научная аппаратура изготовлена в ГДР, СССР и ЧССР. Назначение — исследовать физические характеристики коротковолнового излучения Солнца, которое приводит к образованию нижнего слоя ионосферы. Этот спутник позволил определить содержание в атмосфере молекулярного кислорода, измерить прозрачность земной атмосферы в верхних слоях, узнать интенсивность рентгеновского излучения во время солнечных вспышек и т. д. Другие спутники «солнечной» серии: «Интеркосмос-4», «Ин-

* В дополнение к этому советуем прочесть брошюру Ю. Шейнина *Интегральный интеллект*. М., «Молодая гвардия», 1970.

теркосмос-7», «Интеркосмос-11» и т. п. — позволили уточнить полученные данные, получить спектры и развертки изображения солнечных вспышек, определить степень поляризации в регистрируемых участках спектров. Было установлено, что при мощных вспышках на Солнце степень поляризации достигает 10—20%, что указывает на превалирующую роль в образовании рентгеновских вспышек ускоренных электронов. Радионизлучение Солнца в гектометровом диапазоне длин волн, зарождаемое во время вспышек, а также другие процессы изучались на спутнике «Интеркосмос-Коперник 500», который был выведен на орбиту 19 апреля 1973 года — в год празднования 500-летнего юбилея со дня рождения выдающегося польского астронома Н. Коперника. Научная аппаратура спутника была создана польскими учеными в тесном контакте с советскими специалистами.

Геофизическая ракета «Вертикаль-1» стартовала 28 ноября 1970 года. Этот запуск ознаменовал собой новый этап космических экспериментов, проводимых по программе сотрудничества социалистических стран. Ракета поднялась на высоту 487 км и позволила с помощью новейших приборов продолжить изучение физики Солнца и микрометеоритов. Были получены спектры и фотографии Солнца в мягкой рентгеновской области излучений, зарегистрирован весь спектр солнечного излучения, по ультрафиолетовым снимкам Солнца получены данные о температуре, составе, распределении элементов во внешних слоях солнечной атмосферы. В этих и других важных физических экспериментах принимали участие ученые СССР, ПНР, ГДР, ВНР, ЧССР. Большое количество приборов, возвращенных в спускаемом контейнере, было использовано во второй серии подобных экспериментов, проведенных с помощью ракеты «Вертикаль-2» (1971 год).

Можно привести много других примеров выполнения важных физических экспериментов. Высокоапогейные спутники «Прогноз», предназначенные, в частности, для проведения экспериментов «Снег» и «Калипсо», эксперименты «Стерео», проведенные с использованием межпланетной станции «Марс-3» и наземных наблюдателей во Франции и СССР в 1971 году («Стерео-1»), а также станций «Марс-6», «Марс-7» и наземных наблюдений в 1973 году («Стерео-5»), спутник «Ореол» и «Ореол-2», предназна-

ченные для выполнения проекта «Аркад», проекты «Омега» и «Самбо», эксперимент «Аракс», программы «Атмосфера», «Интеробс», «Арктика—Антарктика» — все эти работы ведутся для изучения физических условий в космосе и прежде всего в окрестностях Солнца и Земли.

Сделав это необходимое, на наш взгляд, введение, рассмотрим научные проблемы, стоящие перед создателями ракет.

Мы уже упоминали о важных проблемах эффективности, таких, как надежность, универсальность, многообразие и т. п., одинаково актуальных и для будущих, и для современных ракет, проблемах, над которыми трудятся огромные научные коллективы, куда входят представители различных научных дисциплин. Термодинамики и экономисты, химики и биологи, материаловеды и математики, механики и теплотехники, психологи и социологи, астрофизики и кибернетики — только одно перечисление специальностей (даже без их детализации) заняло бы несколько десятков страниц. Какая же цель преследуется учеными, работающими над созданием новых ракет? Оказывается, задача, поставленная перед ними, весьма сложна. Из очень большого количества самых разнообразных вариантов и возможных схем надо выбрать такую схему и такую конструкцию ракеты, которая бы наряду с высокой эффективностью удовлетворяла следующим требованиям: максимальное использование имеющегося опыта; оправданная степень риска на случай отказа от дальнейших разработок; высокая надежность при наименьших затратах времени и материальных средств на разработку, изготовление и эксплуатацию системы; перспективность, т. е. возможность использования некоторых принципов, закладываемых в конструкцию, для создания более совершенных ракет в будущем.

Иными словами, в процессе этих исследований решается многоплановая комплексная проблема создания сложной и дорогостоящей системы, выбора ее основных физических и других параметров. Именно в процессе этих исследований возникли предложения об использовании внешних массово-энергетических ресурсов, ЯЭУ, ядерных двигателей многообразных ракет.

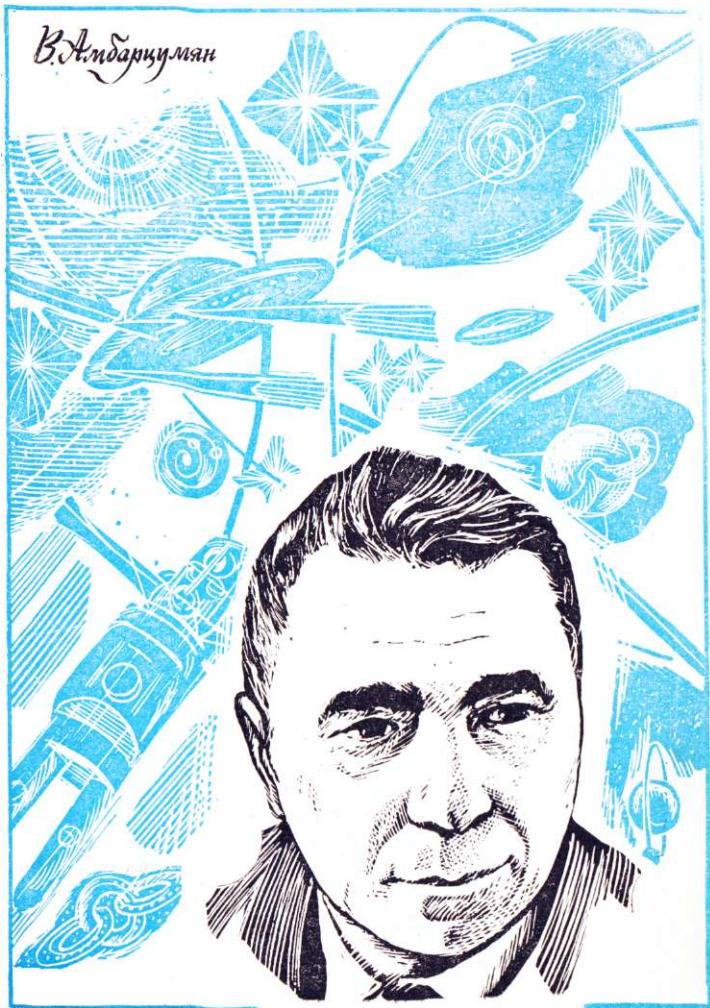
Другая серия научных проблем решается при создании ракеты, когда ее облик и основные параметры уже выбраны, и приня-

то решение о производстве. Эти проблемы возникают и должны быть разрешены на различных этапах создания ракеты, включая этапы ее летных испытаний. Ученые трудятся при этом в тесном содружестве с инженерами, производственниками, эксплуатационниками. В частности, эти исследования позволили установить огромное количество неизвестных ранее физических характеристик веществ и систем, таких, как углы смачивания, теплоемкость, вязкость и т. п.

Наконец, третье направление, третья группа проблем — это научный поиск, направленный на выяснение фундаментальных законов природы. Открытия, сделанные в процессе этих работ, могут быть, в частности, положены в основу работы будущих ракет или их элементов. Известно, что многие открытия были сделаны в процессе развития ракетной техники, поэтому и здесь содружество науки и техники, безусловно, дает свои ощутимые результаты. Создатели ракетной техники пристально следят за этими исследованиями. Надежды, которые они связывают с возможностью открытия тайн гравитации, открытия промышленных методов получения и хранения антивещества и свободных радикалов, выяснения реальности существования кварков, короче говоря, надежды, которые они связывают с будущими фундаментальными открытиями, направлены в том числе и на создание ракет, либо использующих совершенно новые источники энергии, либо работающих на совершенно новых принципах получения тяговых усилий.



В.Андреев



10. ТЕХНИКА СОСЕДЕЙ ПО РАЗУМУ!

«Все мы сознаем, что открытие первой внеземной цивилизации имело бы колоссальное значение для развития знаний человека, — значение того же масштаба, что и запуск первого спутника...» — сказал академик В. А. Амбарцумян на открытии Первой советско-американской конференции по проблеме связи с внеземными цивилизациями, состоявшейся в Бюракане (Армянской ССР) 5—11 сентября 1971 года*.

Итак, мировая наука приступает к разгадке еще одной тайны мироздания. Как это делать? С помощью каких средств и методов? Какова надежда на успех? Все эти вопросы пока только ставятся.

Существо проблемы состоит в следующем. В соответствии с простейшей формулой, предложенной Дрейком, число N возможных высокоразвитых цивилизаций, достигших земного уровня развития или превысивших его, представляет собой произведение из семи сомножителей:

$$N = R \cdot f_p \cdot n_e \cdot f_i \cdot f_c \cdot L,$$

где R — ежегодное количество вновь образующихся звезд в Галактике, усредненное по всему времени ее существования; f_p — доля звезд, имеющих планетные системы; n_e — среднее число планет, входящих в планетные системы и пригодных для жизни; f_i — доля планет, на которых действительно возникла жизнь; f_c — доля планет, на которых жизнь развилась до разумных форм; f_c — доля планет, на которых разумная жизнь достигла уровня, обеспечивающего возможность своего технического проявления в галактическом масштабе; L — средняя продолжительность существования таких цивилизаций.

Величина R рассчитывается довольно точно. Для нашей Га-

* Проблема СЕТИ (связь с внеземными цивилизациями). Сб. пер. М., «Мир», 1975.

лактики, минимальный возраст которой оценивается в 10 млрд. лет, число звезд составляет 10^{11} , следовательно, $R_* = 10$. В настоящее время существует несколько моделей Вселенной, причем некоторые из них дают значительно больший возраст Галактики*, однако мы их учитывать не будем.

Для точного расчета f_p наблюдательных данных пока недостаточно. Известна, правда, звезда Бернара, возмущенное движение которой наиболее удачно объясняется наличием у нее планеты или нескольких планет, однако этого факта недостаточно. Было также установлено, что у некоторых звезд (типа Солнца), температура которых не очень высока, момент количества движения намного меньше, чем у горячих звезд. Расчеты показывают, что если все планеты солнечной системы поместить на Солнце, то по закону сохранения момента количества движения его скорость вращения увеличилась бы до первоначальной величины, характерной для молодых звезд. Звезд с аномально малым количеством движения в нашей Галактике около $5 \cdot 10^9$, следовательно, $f_p = 5 \cdot 10^9 / 10^{11} = 0,05$.

Величина n_e может быть подсчитана на основе анализа физических условий на Земле, однако ее расчет довольно субъективен. Нижние оценки дают $n_e = 0,1$.

Умозрительные (интуитивные) данные, полученные в результате усреднения данных опроса специалистов, занимающихся проблемой внеземных цивилизаций, говорят о том, что средняя величина $f_i = 8 \cdot 10^2$. Аналогично величина $f_i = 10^{-2}$, а $L = 2 \cdot 10^5$ лет.

Таким образом, даже по самым пессимистическим оценкам количество высокоразвитых цивилизаций только в нашей Галактике равно 10. Средняя же оценка верхнего предела числа таких цивилизаций равна $2 \cdot 10^4$. При этом интуитивно предполагается, что формы жизни и ее распространение могут быть весьма разнообразны и не похожи на земную. Возможен также перенос цивилизаций по межгалактическому пространству в результате их направленной технической деятельности.

Иначе говоря, сделанные оценки носят весьма приближенный

* В. П. Бурдаков. Расширяющаяся Вселенная. М., «Знание», 1979.

характер до тех пор, пока не будут установлены технические возможности переноса цивилизаций или проявления их деятельности. Первое возможно с помощью летательных аппаратов, а второе — с помощью передачи информации. В настоящее время человечеству известен только один принцип создания летательных аппаратов — реактивный, а также только один путь передачи информации — с помощью электромагнитных волн, хотя не исключена возможность открытия в будущем иных принципов и путей для подобной деятельности.

Почему мы затронули проблему поиска внеземных цивилизаций в книге о ракетах будущего, о будущем космонавтики? Ответ на этот вопрос состоит из двух пунктов. Во-первых, организация этих работ имеет много общего с организацией работ в космонавтике, поскольку требуется привлечение значительных ресурсов и специалистов практически всех научных направлений, причем именно тех специалистов, которые уже сейчас работают в области космонавтики. Во-вторых, эта проблема имеет непосредственное отношение к космонавтике не только потому, что областью исследований является космическое пространство, но и потому, что одним из методов исследования этой проблемы может служить обнаружение космической деятельности внеземных цивилизаций путем идентификации необычных космических явлений с созданными или разрабатываемыми (изучаемыми) перспективными космическими системами.

Становится очевидным, что научные исследования возможных облика и характеристик будущих технических средств космонавтики, в том числе и будущих ракет, имеют вдвойне важное значение и для создания новых технических средств, и для решения одной из наиболее грандиозных задач человечества — обнаружения космических соседей по разуму.

Вот конкретный пример. В 1881 году астроном из Бристоля Денниг открыл интересную комету, которая вошла во все каталоги под индексом 1881V (цифра V указывает, что это была пятая комета 1881 года). Комета была во многом необычна. Она не подходила близко к Солнцу, практически не имела хвоста — основного украшения почти всех комет, зато очень близко подошла к Земле (минимальное расстояние от кометы до Земли составило

0,04 астрономических единиц*, или 6 млн. км). Более того, она приблизилась еще и к Марсу на 0,06 астрономических единиц, или 9 млн. км. Наблюдалась комета в виде невзрачного на вид туманного дискообразного пятнышка со светящимися точками в его центре. Добавим, что эта комета прошла достаточно близко от орбиты Венеры (0,02 астрономические единицы, или 3 млн. км) и от орбиты Юпитера (0,16 астрономических единиц).

Можно ли все это назвать чистой случайностью? Очевидно, можно, тем более, что разгадка тайны этой кометы требует, естественно, дополнительных сведений, которые получить невозможно: комета (судя по расчетам) давно уже вышла из пределов Солнечной системы.

А если пофантазировать и сравнить траекторию полета этой кометы с траекторией полета аппарата, который не так давно разрабатывался в США в рамках программы «Большой тур»**? Оказывается, существуют моменты, когда планеты Солнечной системы располагаются таким образом, что межпланетный корабль, двигаясь по эллиптической пассивной траектории, может достаточно близко подойти к двум, а очень редко — и к трем планетам. Представим теперь, что некая неизвестная нам разумная жизнь заинтересовалась солнечной системой. По-видимому, она пошлет к нам зонд, который за один пролет должен получить максимальное количество информации о планетах. При этом к Земле следовало бы подойти поближе, чем к Марсу, из-за ее сильного облачного покрова.

Сравнение весьма любопытно! Возникает, в частности, вопрос: а не может ли разумная жизнь перемещаться по безбрежному космосу на островках, которые мы, земные наблюдатели, ошибочно отождествляем иногда с кометами — довольно хорошо изученными мертвыми телами, состоящими из камней, льда и пыли. Правильно ли направлять поиски внеземной жизни только лишь по пути приема возможных радиосигналов от дальних планетных систем? Может быть, островки жизни, островки разума, не связанные с какой-либо планетой или какой-либо иной Солнечной си-

* *Астрономическая единица* — среднее расстояние от Солнца до Земли, равное примерно 149,6 млн. км.

** Программа не была реализована

стемой, а свободно перемещающиеся в пространстве, более благоприятны для поисков? На наш взгляд, этот вариант поисков более предпочтителен по ряду причин. В межзвездном и даже межгалактическом пространстве имеются все необходимые элементы, требующиеся не только для ремонта летающего острова и для поддержания его энергетического потенциала, но и для строительства новых сооружений, для его увеличения и для расширения его возможностей. Вечная привязанность к планете — «колыбели разума» — менее заманчива не только потому, что «нельзя же вечно жить в колыбели», как говорил К. Э. Циолковский, но и потому, что эта «колыбель», обладая конечным сроком существования, может оказаться не очень надежным убежищем. То же самое можно сказать и о любой конкретной планетной системе. Наконец, по аналогии с земной жизнью, можно утверждать, что органическая жизнь, а тем более разумная органическая жизнь, способная себя защитить от неблагоприятных факторов внешней среды, в силу каких-то (пока еще не ясных до конца) законов всегда имеет тенденцию к распространению в пространстве. Ожидается, что примерно к 2000 году будут освоены управляемые термоядерные реакции, к 2050 году — синтезирование из водорода практически всех элементов Периодической системы Д. И. Менделеева, а примерно к 2100 году человечество (при условии объединения усилий всех землян) сможет создать и отправить в не ограниченное никакими сроками космическое путешествие первое поколение (100—200 человек*) представителей земной цивилизации. При этом совершенно не обязательно создавать аппарат, обладающий возможностью двигаться с околосветовыми скоростями, чтобы успеть вернуться из далекого путешествия на Землю. Достаточно лишь иметь надежную связь с Землей и возможность не только поддерживать в исходном состоянии, но и совершенствовать свой остров разума во всех отношениях за счет внешних ресурсов (увеличивать количество и совершенство коллектива, улучшать параметры тяговых, энергетических, научных и вспомогательных систем, совершенствовать программу работы и т. д.).

* Среднее количество людей, с которыми приходится обычно вступать в контакты человеку.

Создание подобных островов разума, по-видимому, неизбежное следствие овладения ядерно-энергетическими процессами и методами использования внешних ресурсов, т. е. того, к чему уже сейчас вплотную подошла наша земная космонавтика всего за 20 лет существования.

Конкретное предложение, вытекающее из приведенных выше общих соображений, сводится к необходимости развивать кометную астрономию, совершенствовать методы астрофизического исследования комет, создавать для полета к кометам космические зонды-автоматы. Может быть, в частности, разработана программа автоматизированного анализа данных в целях выявления «необычных» свойств, которые не поддаются объяснению с позиции имеющихся статистических данных о кометах. Наконец, могут быть созданы алгоритмы, в соответствии с которыми к той или иной загадочной комете могут быть отправлены позывные (в целях безопасности для Земли подобные станции можно иметь на Луне).

Заканчивая замечания о «необычных кометах», приведем несколько примеров, подтверждающих целесообразность поисков в этом направлении.

В 1956 году была обнаружена комета, которую по имени ее первооткрывателей назвали кометой Аренда—Ролана (1956 h*). Хвост у кометы появился после 22 апреля 1957 года и исчез в самом начале мая. Ранее таких хвостов у комет не наблюдалось! Вместе с «обычным» хвостом, направленным от Солнца, комета имела очень узкий, как копьё, аномальный хвост, который был направлен в сторону Солнца. Сначала попытались объяснить это явление естественной причиной: аномальный хвост составляли якобы продукты разрушения кометы, которые концентрировались в виде следа на ее орбите, поэтому в момент нахождения кометы между Солнцем и Землей оба направленных от Солнца хвоста располагались как бы по разные стороны от ядра кометы. Но комета продолжала движение, и аномальный хвост по мере поворота плоскости кометной орбиты относительно земного наблюдателя не превратился, как ожидалось, в сектор, соединенный с основным хвостом, а принял вид хорошо очерченного расходящегося луча! Кроме того, спектр аномального хвоста не оказался сплошным, как это обычно бывает у пылевых хвостов. Необычно также и то, что аномальный хвост появился и исчез внезапно.

* Буква означает порядковый номер кометы по латинскому алфавиту, присваиваемый первооткрывателем предварительно.

Теперь об «обычном» хвосте. Он состоял из двух хвостов — хвоста первого типа (по классификации известного советского астронома Ф. А. Бредихина), который был связан с внутренней головой (очень размытой и напоминающей по форме луковицу), и хвоста второго типа, который был связан с внешней головой, имевшей четкие параболические очертания. По теории кометных хвостов, разработанной на основе многочисленных наблюдений комет, все должно быть как раз наоборот. Кроме того, внутренний хвост имел непрерывный спектр, которого у хвостов первого типа вообще не наблюдалось. Для того чтобы хоть как-то совместить данные наблюдений с теорией кометных хвостов, пришлось сделать допущение, что начальная скорость истекающих частиц была выше 3000 м/с. А ведь для искусственного достижения таких скоростей, равных скорости истечения струй из современных ЖРД, приходится применять специальные ускорители — расширяющиеся сопла, профиль которых тщательно рассчитывается и согласовывается с химическим составом и температурой истекающего газа. Иначе говоря, допущение об естественном возникновении таких высоких скоростей истечения вряд ли правомочно. Но и это не все. 10 марта 1957 года станция Университета в штате Огайо (США) зарегистрировала радиоизлучение кометы на волне 11 м (27,6 МГц). Интенсивность излучения колебалась примерно в пределах $\pm 30\%$, а его источник располагался в основном хвосте на значительном удалении от головы. Начиная с 20—21 апреля, т. е. перед появлением аномального хвоста, этот источник стал удаляться в сторону от Солнца примерно в радиальном направлении. 9 апреля 1957 года в Бельгии было обнаружено радиоизлучение кометы на волне 0,5 м (600 МГц). Высокая стабильность этого излучения как по амплитуде, так и по частоте противоречит напрашивающемуся предположению об естественном спорадическом излучении в плазме кометных хвостов. Излучение на волне 11 м наблюдалось больше месяца. Наиболее сильным оно было с 16 марта по 19 апреля, т. е. накануне появления аномального хвоста. Более того, интенсивность посылаемых сигналов ежедневно усиливалась.

Таким образом, исчерпывающее объяснение кометы 1956 *h* только естественными причинами связано с рядом противоречий.

Говорить о том, что наблюдалось искусственное небесное тело, тоже нет достаточных оснований, хотя и существуют проекты будущих космических прямоточных двигателей (см. гл. 14), наблюдение работы которых со стороны удивительно напоминало бы все без исключения аномалии кометы 1956 *h*.

Наблюдались и другие удивительные кометы. Так, в спектре кометы 1882II были обнаружены железо, хром и никель — элементы, которые есть и в спектрах реактивных струй ЖРД вследствие незначительной эрозии реактивных сопел, содержащих эти металлы. Загадочным было также различие спектров головы и хвоста у кометы 1907IV. У кометы 1926III наблюдалось отсутствие влияния Солнца на положение хвоста, который поворачивался в пространстве, казалось бы, совершенно произвольно, причем комета не придерживалась вычисленной для нее траекто-

рии, а значительно (на 4') отклонялась от нее. Такое отклонение можно объяснить лишь значительной тягой, развиваемой при истечении массы из ядра кометы.

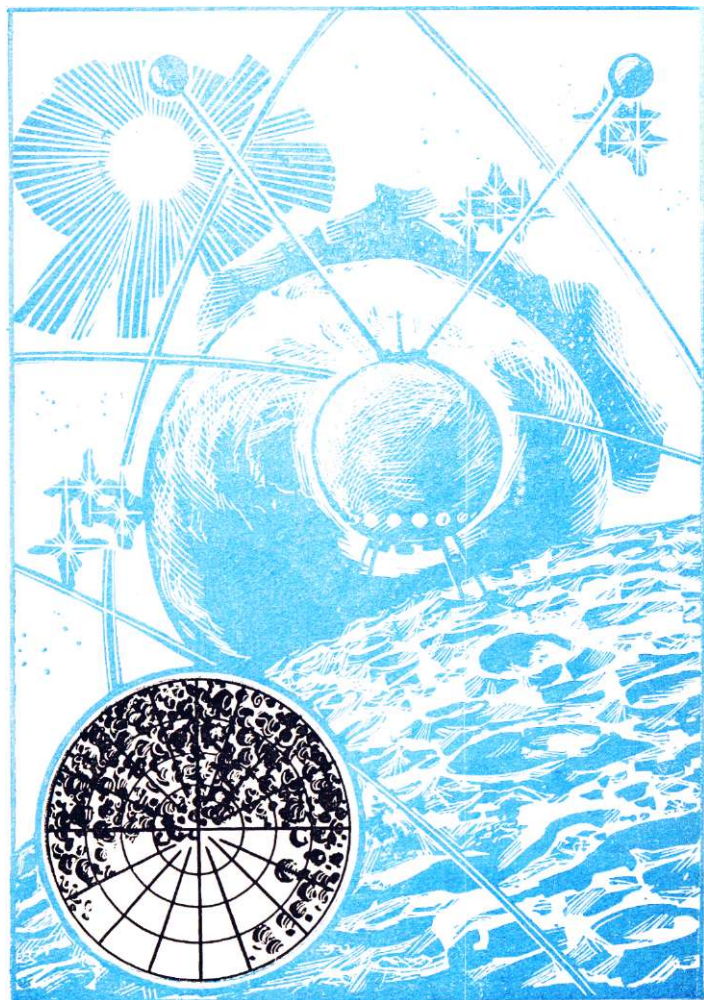
Таким образом, среди большого числа наблюдаемых комет очень редко (с периодом 20—30 лет) появлялись уникальные, перспективные в смысле обнаружения в их поведении и внешнем облике следов разумной деятельности внеземных цивилизаций. По-видимому, к возможному появлению подобных комет в будущем следует готовиться очень тщательно.

В заключение раздела имеет, по-видимому, смысл сделать несколько замечаний о НЛО (неопознанных летающих объектах), хотя бы потому, что у многих читателей книги вопросы об их существовании все равно возникнут. Естественно, что все сказанное может характеризовать только лишь нашу частную точку зрения. К сожалению, у нас пока не сформировалось четкой точки зрения на природу наблюдаемых в нашей стране время от времени странных явлений в земной атмосфере. Мы завидуем, например, некоторым известным ученым и писателям-фантастам, которые имеют на этот счет совершенно определенную точку зрения — все наблюдаемое, как говорят они, — хорошо известные явления миражей, атмосферной оптики, шаровых молний, световых эффектов, шаровозондов и т. п. Более того, мы и сами могли бы дать естественное объяснение ряду наблюдаемых феноменов. Так, реактивная струя, вылетающая из сопла ракеты (например, геофизической) на большой высоте (30—70 км) принимает из-за большого расширения форму полумесяца с размытой внутренней кромкой и слабым фиолетово-красным свечением, исходящим от концов «рогов». В конце работы ракетной ступени это свечение может сопровождаться искрами — следами частичной эрозии металла или вылетом из сопла несгоревших фрагментов твердого топлива. В виде полумесяца реактивная струя видна сбоку. Если же ее наблюдать не сбоку, а со стороны выходного сечения сопла, то будет заметно светящееся ночью пятно с мерцающими пульсирующими краями и с яркой точкой посередине. При выключении (или, как говорят, при отсечке двигателя) наблюдается резкая световая вспышка, вслед за которой наступает темнота (если при этом не начинает работать последующая ступень ракеты). Наблюдая это довольно эффектное (особенно ясной ночью) зрелище, можно совершенно не слышать никакого звука или шума как из-за большой удален-

ности и высоты полета ракеты, так и из-за неблагоприятного направления ветра. Иногда все-таки звук бывает слышен — он напоминает очень глухие и низкие раскаты далекого грома. Естественно, в условиях атмосферной неоднородности и это явление может сопровождаться миражами, искажениями и т. п. Ряд подобных явлений (в целом, они довольно редки) нам объяснить пока не удалось, поэтому мы считаем возможным, не прибегая ни к каким гипотезам, извиниться перед читателями за некомпетентность в этом вопросе.

Далее будут рассмотрены возможности создания летательных аппаратов, использующих новые принципы создания тяги, не основанные на истечении запасаемой на борту массы. По мнению некоторых специалистов, в основном зарубежных, подобные принципы могут быть уже реализованы в загадочных летательных аппаратах «инопланетян», которые кое-кто склонен отождествлять с наблюдаемыми в атмосфере феноменами. Очень велико искушение предложить гипотезу о возможной связи таких объектов (если будет доказан сам факт их существования) с описанными выше островами разумной жизни, однако достаточных оснований для этого в настоящее время у нас нет.





11. НАДО ЛИ ЗАРЯЖАТЬ ЛУНУ?

В технической литературе неоднократно обсуждались оригинальные проекты космических летательных аппаратов, создающих тяговое усилие за счет электростатического (кулоновского) взаимодействия друг с другом или с космическими телами, например с Луной.

Рассмотрим один из таких проектов более подробно.

Сообщив одноименные электрические заряды Луне и космическому аппарату, находящемуся вблизи Луны, можно получить состояние равновесия, когда гравитационная сила притяжения скомпенсирована электростатической силой отталкивания. Подобное уникальное состояние, когда летательный аппарат неподвижно висит над поверхностью космического тела, называют *левитацией* (впервые этот термин применил Ньютон для описания поведения частиц в кометных хвостах). Привлекательность левитации для исследования и освоения Луны очевидна. Длительное нахождение над лунной поверхностью позволило бы проводить съемки местности, вести другие исследования Луны, выбирать место посадки. Кроме того, незначительное уменьшение или увеличение заряда корабля позволило бы проводить снижение или, наоборот, удаление его от Луны. Очевидно, что такие транспортные операции в космическом пространстве должны быть очень эффективны — ведь они не связаны как будто ни с расходом бортовой массы, ни с чрезмерными расходами энергии. Создается впечатление, что открыт способ осуществления практически обратимых космических транспортных операций.

Исследования показали, что при равенстве электростатических потенциалов, приобретаемых Луной и летательным аппаратом после зарядки, величина этих потенциалов будет наименьшей.

Особенностью конструкции летательного аппарата (корабля) будут специальные устройства, служащие для увеличения его геометрических размеров, так как последние определяют его электрическую емкость. Наиболее простое устройство этого типа — элект-

ропроводный кабель, один конец которого прикреплен к аппарату, а другой под действием электростатических сил вытягивается в сторону, противоположную направлению на Луну. Для предотвращения стекания заряда с корабля и с конца кабеля должны быть предусмотрены: с одной стороны, сферическая форма корабля и надувной сферический баллон на конце кабеля, а с другой — специальные цилиндрические баллоны вблизи конца кабеля. Все это необходимо для уменьшения напряженности электрического поля.

Расчеты дали следующие результаты: летательный аппарат массой 5000 кг должен иметь кабель массой 1380 кг. При этом предполагалось, что кабель может быть сделан из очень прочных силикатных нитей, которые для придания им электропроводности покрываются в вакууме алюминием (алюминируются). Такой кабель имеет длину 27 км, диаметр 6 мм и работает при напряжении растяжения, которое в два раза меньше напряжения разрыва. Требуемый электростатический потенциал корабля составляет в этом случае 340 млн. В, а его заряд равен 56 Кл. Соответственно заряд Луны при том же потенциале составит 6600 Кл. Если предположить, что утечек зарядов не происходит и время, в течение которого необходимо зарядить Луну и корабль, ограничено 1 сут, то потребные мощности электростанций на корабле и Луне будут соответственно равны 200 и 128000 кВт. Эти значения мощности могут считаться приемлемыми даже с точки зрения современного развития ядерно-энергетических систем. Уже существуют и успешно применяются на космических аппаратах ядерно-энергетические установки (ЯЭУ) мощностью в десятки кВт. Существуют многочисленные проекты космических ЯЭУ мощностью 100, 200 кВт и более. Их реализация сомнений не вызывает. Наземные же АЭС успешно эксплуатируются и развивают мощности, существенно превышающие 128000 кВт. По-видимому, строительство подобных электростанций на Луне будет связано со значительными трудностями и большими материальными затратами.

Необходимая суммарная мощность электростанций корабля и Луны может быть уменьшена примерно в 100 раз, если удастся увеличить потенциал корабля примерно в три раза (до 1000 млн. В) при одновременном снижении потенциала Луны более чем в

10 раз (до 28 млн. В). Естественно, что для этого потребуется применение более прочного кабеля и более мощной ЯЭУ на корабле.

Заранее отметим, что общий расход энергии на первичную зарядку Луны и корабля примерно в 100 раз превысит расход энергии, который требуется для преодоления гравитации с помощью ЖРД (КПД=50%). Не следует, однако, забывать, что при использовании ЖРД необходим, кроме того, значительный расход бортовой массы. Если корабль и Луна уже заряжены, а утечки заряда не происходит, то энергия, которая затрачивается на их относительное перемещение, в случае использования электростатических сил оказывается в несколько раз меньше, чем при использовании ЖРД. Наконец, с учетом упомянутой выше обратимости транспортных операций, энергетическая эффективность кулоновской тяги становится выше эффективности тяги ракеты в десятки раз. Что же касается, массовой эффективности, то эти методы, по-видимому, вообще не могут сравниваться, поскольку кулоновская тяга создается практически без выброса бортовой массы.

Для демонстрации этого положения рассмотрим расход бортовой массы, требуемый для осуществления зарядки Луны и корабля.

Хорошо известно, что для зарядки изолированного тела требуется либо присоединить к нему частицы того или иного знака, либо удалить их. Проще всего, по-видимому, сообщить Луне и кораблю положительный заряд, так как пороговая напряженность поля автоэмиссии* протонов примерно на порядок выше, чем для электронной автоэмиссии, и составляет 10^{10} В/м. Кроме того, электроны легче разогнать в ускорителях.

Процесс зарядки состоит в следующем. В электронном ускорителе разгоняют пучок электронов (плотность пучка должна соответствовать необходимой силе тока зарядки — в нашем случае при равенстве потенциалов Луны и корабля зарядные токи соот-

* Автоэмиссия — это самопроизвольное покидание тела заряженной частицей, вызванное высокой напряженностью электрического поля. Примером автоэмиссии служит школьный опыт, демонстрирующий явление «электронного ветра» — стекание электронов с острия.

ответственно равны 0,77 А и 0,65 мА). Энергия ускоренных электронов выражается в электронвольтах и для идеальных условий соответствует ускоряющему напряжению в вольтах. Очевидно, что ускоряющее напряжение не должно быть меньше конечного потенциала Луны или корабля, так как в противном случае электроны не смогут удалиться от заряженного объекта «в бесконечность», а, описав замкнутую траекторию, под действием кулоновского притяжения к положительно заряженному объекту, будут возвращаться на него и компенсировать (нейтрализовать) заряд. Очень важно определить направление пучка ускоренных электронов. Его можно направить с корабля в сторону, противоположную Луне, но можно направить и в сторону Луны. В последнем случае ток электронного пучка с Луны придется увеличить, но зато на корабль можно установить менее мощный, а следовательно, и более легкий ускоритель.

Масса ускорителя имеет большое значение для конструкции летательного аппарата. Не могут быть поэтому использованы компактные, но тяжелые (из-за магнитных устройств) синхротроны — хорошо освоенные циклические ускорители электронов*. Наиболее подходят для ускорения электронов в космическом корабле так называемые электростатические ускорители, основной элемент которых — ускоряющие трубки, представляющие собой набор ускоряющих электродов с центральными отверстиями для прохода электронного пучка. Поскольку прочность разделяющих эти электроды изоляторов по современным представлениям не допускает напряженностей поля выше 15—30 кВ/см, необходимые длины ускоряющих трубок достигают нескольких сот метров, их создание превращается в серьезную конструкторскую проблему.

На поверхности Луны, очевидно, могут быть установлены и более тяжелые ускорители, например, упомянутые выше синхротроны.

Следует, конечно, отметить, что в настоящее время ведутся исследования новых типов ускорителей, дающих большие токи и энергии ускоренных пучков, имеющих высокие значения КПД,

* В Физическом институте АН СССР им. П. Н. Лебедева был создан синхротрон с максимальной энергией электронов 680 млн. МэВ,

малые размеры и массу. Так, например, разрабатываются плазменные ускорители, работа которых основана на так называемых коллективных методах ускорения. Внутри потока электронов, находящихся в ускоряющем поле, движется пучок положительных ионов. Кольцевое фокусирующее поле создается электронами, которые имеют значительно большую по сравнению с ионами скорость движения. На опытных образцах подобных ускорителей уже получены токи ускоренных пучков до 10 А. В частности, было осуществлено ускорение пучка ионов азота с помощью плотного (диаметром 5 см и толщиной несколько миллиметров) кольца электронов, разогнанных до субсветовой скорости. Пучок состоял из 10^8 ионов и имел энергию 60 МэВ.

Получили распространение и так называемые мегаамперные ускорители. В них уже достигнуты токи в пучке до $3 \cdot 10^5$ А при мощности в импульсе 10^{12} — 10^{13} Вт, что соответствует энергии луча в несколько десятков килоджоулей. Важно то, что продолжительность импульса весьма мала — всего 10^{-8} с. Это означает, что корабль, снабженный таким ускорителем, сможет работать в импульсном режиме зарядки, что позволит ему получать импульсный положительный пространственный заряд даже в плазме околоземного или окололунного пространства. Заметим, что в плазме ускоренный пучок электронов может проходить весьма большие расстояния — до нескольких сотен метров — из-за возникающего при этом индуцированного ионного тока, который уничтожает внешнее магнитное поле и тем самым препятствует расфокусировке. Конструкция такого ускорителя невелика по размерам и не очень сложна. Игольчатый (несколько игл) катод при подведении к электродам от импульсного генератора поля со средней напряженностью около 5 000 000 В/см обеспечивает начальный ток автоэмиссии. На поверхности каждого острия напряженность поля оказывается на несколько порядков больше (эффект острия). Возникший ток усиливается за счет нагрева игл, т. е. за счет термоэмиссии. Каждое острие покрывают составом, обеспечивающим появление островков плазмы, устраняющих пространственный заряд, который препятствует дальнейшему выходу электронов. Таким материалом может быть оргстекло. Анод ускорителя — это тонкая (несколько микрон) фольга. Она прозрачна для ускорен-

ных электронов, но позволяет иметь в межэлектродном промежутке длиной несколько сантиметров вакуум 10^{-3} Па. За анодом расположена фокусирующая камера, наполненная газом под давлением 10^2 — 10^5 Па. В этой камере возникает ионная оболочка, положительный пространственный заряд которой фокусирует электронный пучок почти в точку. Длина фокусирующей камеры лишь немногим больше межэлектродного зазора. Можно, по-видимому, надеяться, что в космических условиях конструкция такого ускорителя будет еще проще — не надо создавать вакуум.

Среди большого комплекса проблем, связанных с созданием электростатических тяговых систем, принципиальное значение имеют две — явление *электростатической индукции* и явление *дебаевского экранирования* пространственного заряда.

Электростатическая индукция проявляется на близких расстояниях между заряженными телами и состоит в перераспределении зарядов на их поверхностях. Например, при приближении корабля к поверхности Луны под ним будут скапливаться отрицательные заряды, которые существенно уменьшат силу отталкивания. Расчеты показали, что электростатическая сила для рассмотренного выше случая равных потенциалов становится равной нулю на высоте 20 км над поверхностью Луны. Для режима минимальной затраты энергии эта высота еще больше. Таким образом, явление электростатической индукции не позволяет воспользоваться кулоновской подъемной силой на высотах менее 20 км. Более того, если не предпринять никаких мер, то падение заряженного корабля на Луну с высоты 20 км будет более ускоренным, нежели под действием одной только гравитации.

Если не говорить о тривиальном методе посадки — с помощью посадочного ЖРД (струя которого, кстати, приведет к быстрому «сбрасыванию» заряда), то для реализации такой «кулоновской» тяговой системы придется, очевидно, создавать специальные лунные «электродромы» — ровные площадки, построенные из хороших диэлектриков и поддерживаемые с помощью лунных ускорителей под нужным для посадки корабля потенциалом.

До сих пор мы вели рассуждения для условий абсолютного вакуума, которого, как известно, в природе не существует. Реальная межпланетная среда, особенно ее ионизированные компо-

ненты (солнечный ветер), являются основным препятствием для создания рассматриваемых летательных аппаратов. Действительно, заряжающий электронный луч в такой среде будет рассеиваться, так как электроны начнут соударяться с притягиваемыми к лучу частицами внешней среды и терять энергию. Отрицательно заряженные частицы начнут притягиваться к Луне и положительно заряженному кораблю, создавая вокруг них облако пространственного заряда противоположного знака. В результате этого экранирования электростатическое поле корабля и Луны будет простирается не в бесконечность, а на величину так называемого дебаевского радиуса. Кроме того, отрицательные частицы под действием поля положительно заряженного корабля будут ускоряться и соударяться с ним, выделяя значительную энергию, разрушая покрытие и приводя к нагреву корабля. Возникновение разрядного тока, обусловленного этим явлением, потребует непрерывной работы заряжающего устройства, мощность которого из-за необходимости компенсации разрядного тока должна быть увеличена, как показали расчеты, в несколько сот раз.

Таким образом, конкретно для Луны применение кулоновской тяговой системы в том виде, как это представляется в настоящее время, окажется, по-видимому, неэффективным. Вместе с тем она может быть, вероятно, применена у лун дальних планет Солнечной системы, где влияние заряженных компонент солнечного ветра незначительно. Наконец, в межзвездном, а тем более в межгалактическом пространстве, применение кулоновского взаимодействия может оказаться наиболее желательным.



В. Темпов



12. АДРЕС – ОИСЗ

Околоземные орбиты искусственных спутников Земли уже давно превратились в орбиты сотрудничества многих стран мира.

«Стремясь к превращению космоса в арену мира и международного сотрудничества государств, Советский Союз осуществляет широкие международные связи в области исследования и использования космического пространства» — писал* вице-президент АН СССР академик Б. Н. Петров, внесший большой личный вклад в реализацию международной программы «Интеркосмос».

Высшим достижением этой программы явилась работа нескольких международных экипажей на советской орбитальной станции «Салют-6».

Целесообразность и эффективность применения в космических исследованиях орбитальных станций считают доказанными. Более того, орбитальным станциям отводится значительная роль в будущем освоении космоса.

«С помощью орбитальных станций, — пишет** летчик-космонавт СССР дважды Герой Советского Союза В. А. Шаталов, — человек фундаментально освоит околоземный космос. Станции станут своеобразными орбитальными космодромами, где может происходить сборка межпланетных кораблей, снаряжение экспедиций в дальний космос».

Орбитальный космодром должен снабжать отлетающие корабли всем необходимым и, в первую очередь, реактивной массой. Количество запаасаемой на борту корабля реактивной массы зависит от дальности предполагаемого путешествия и типа установленной на нем ДУ. Если в качестве топливных компонентов ЖРД применяются водород и кислород, то на долю топлива при полете даже к Луне приходится основная масса стартующего ко-

* Б. Н. Петров. Космические исследования и научно-технический прогресс. М., «Знание», 1971.

** В. А. Шаталов. 15 лет в космосе, — «Авиация и космонавтика», 1976, № 4, с. 4.

рабля (только кислород составляет примерно половину массы). При полете к другим планетам Солнечной системы доля реактивной массы будет еще больше. Если на корабле установлена электроядерная ДУ, которая считается наиболее эффективной и на применение которой надеются создатели проектов космических ракет будущего, то и тогда реактивная масса займет не менее 50% начальной массы стартующей с орбиты ракеты. Таким образом, космическая станция-космодром должна иметь возможность каким-то образом наполнять свои резервуары реактивной массой.

Таких возможностей две. Первая — обычная доставка реактивной массы или ракетного топлива с Земли транспортными ракетами. Вторая возможность состоит в накоплении вещества непосредственно станцией, летящей по орбите ИСЗ, за счет захвата атмосферных компонентов во время такого полета*.

Рассмотрим, как это делается на примере одного из возможных проектов такой накопительной станции.

Очевидно, что отправка от орбитальной станции космического корабля — событие не такое уж частое даже в будущем. Поэтому промежутки между стартами дальних экспедиций можно использовать для накопления атмосферных компонентов.

Как правило, штатный полет орбитальных станций осуществляется по орбитам, располагающимся на высотах 200—500 км. Такие высоты удобны во многих отношениях: ничтожно малое аэродинамическое сопротивление обуславливает многолетний период существования станции, относительная близость к поверхности Земли упрощает доставку к станции экипажа и грузов и обратные транспортные операции к поверхности Земли, создает благоприятные условия для изучения и наблюдения за земной поверхностью в интересах народного хозяйства и науки. К сожалению, осуществлять на этих орбитах накопление атмосферных газов невозможно из-за того, что период накопления оказывается неприемлемо большим.

Расчеты показывают, что наиболее выгодный режим накопления можно получить на высотах от 100 до 120 км при движении станции по круговой орбите. Очевидно, что более плотная атмос-

* В. П. Бурдаков. Орбитальные станции. М., «Знание», 1977.

фера обеспечивает уменьшение периода накопления, но зато приводит к возрастанию аэродинамического сопротивления, которое для осуществления устойчивого орбитального полета должно быть скомпенсировано тягой бортовой ДУ.

Итак, рассмотрим, что представляет собой накопительная станция.

В передней части станции находится массозаборник — раструб, направленный навстречу потоку. Он напоминает огромное сопло ракетного двигателя, но работает в обращенном (диффузорном) режиме. Газы не вылетают из него, ускоряясь, а, наоборот, входят в него и замедляют свою скорость. По законам термодинамики температура, плотность и давление захваченного атмосферного газа при этом возрастают. «Запустить» такой массозаборник, т. е. заставить его работать с максимальным КПД, непросто.

Для этого следует плавно уменьшать высоту орбиты с 200 км до рабочей, следя за тем, чтобы перед раструбом не возникла обычная для сверх- и гиперзвуковых течений ударная волна, приводящая к потерям массы газа, к уменьшению его энергии, к нарушению механизма сжатия и, в конечном счете, к уменьшению в 300—400 раз давления и плотности захваченного воздуха.

Уже «запущенный» и устойчиво работающий массозаборник может прекратить устойчивую работу и образовать впереди себя *ударную волну* (специалисты ее называют *выбитой ударной волной*), если будет полностью или частично перекрыт выходной канал, поэтому расход воздуха из массозаборника, как и орбита полета станции, должны тщательно контролироваться.

Скорость полета станции велика, она равна первой космической скорости (около 8000 м/с) и превышает скорость звука в 28 раз. Заметим для сравнения, что скорость орудийного снаряда только в три раза больше скорости звука, а скорость высотных стратосферных ракетных самолетов еще никогда не превышала скорости звука больше, чем в 10 раз. Такая огромная скорость движения станции требует решения двух важных проблем. Во-первых, необходимо разработать реактивные двигатели, которые использовали бы в качестве рабочего тела (реактивной массы) внешние ресурсы, т. е. атмосферные компоненты, но и в то же время развивали бы значительную тягу при расходовании на это

только части внешней массы, захваченной массозаборником. Очевидно, что тяга должна быть достаточной для компенсации тормозного импульса при захвате внешней массы, аэродинамического сопротивления и потерь на управление (т. е. на ориентацию станции навстречу потоку). Во-вторых, сжатие встречного потока в массозаборнике приводит к нагреву захватываемого воздуха, в то время как для обеспечения его хранения на борту станции требуется этот воздух не только охладить, но и оживить. Поэтому станция должна быть оборудована холодильной системой, в состав которой при необходимости может вводиться так называемое разделительное устройство, предназначенное для отделения, скажем, кислорода от азота.

Многочисленные исследования показали, что как первая, так и вторая проблема могут быть решены только лишь при использовании на борту станции ЯЭУ.

В настоящее время существует большое количество проектов космических ЯЭУ, предназначенных для обеспечения энергией *электрореактивных двигателей малой тяги* — в основном *плазменных* или *ионных*. Аналогичная система, состоящая из бортовой ядерной электростанции и двигателей малой тяги, работающих на атмосферных компонентах, должна быть установлена и на накопительной станции.

Накопительная станция представляет собой грандиозное сооружение, ее размеры значительны (в развернутом, т. е. рабочем, состоянии длина станции может превышать 100 м), а масса перед началом накопления составляет около 100 т. Впереди огромный (диаметром 10—20 м) раструб массозаборника, за ним холодильная система, имеющая теплообменные устройства, детандеры, разделители, компрессоры и космические холодильники-излучатели, предназначенные для сброса излишков тепла в космос. Внешнему наблюдателю будут видны только лишь холодильники-излучатели, представляющие собой сеть мелких трубок, расположенных на наружной поверхности у основания массозаборника. По трубкам циркулирует рабочее тело, отдающее тепло в космическое пространство. За холодильниками-излучателями описанной криогенной системы располагаются жилые, приборные и агрегатные отсеки станции. В этом же месте расположены многочисленные антенны,

шлюзовые и стыковочные отсеки. Здесь же находятся стартовые площадки для отправки в дальний путь космических межпланетных кораблей. Все перечисленные устройства, а также располагаемые за ними танки (баки) для хранения накопленного вещества находятся в аэродинамической тени массозаборника.

Следующий элемент станции — огромный конусообразный холодильник-излучатель, который ночью (в тени Земли) светится ярко-малиновым светом — так сильно он нагрет текущим по его трубам металлическим теплоносителем.

Для уменьшения длины холодильник-излучатель может быть выполнен в виде двух конусов — расширяющегося и сужающегося, причем расширяющийся конус может одновременно выполнять функции обтекателя или даже сопла двигателей малой тяги. Однако наиболее предпочтительное место расположения таких двигателей — в самом конце станции за ядерными реакторами, так как в этом случае достигается максимальная эффективность управления положением станции посредством изменения вектора тяги (качания) этих двигателей. Естественно, что реакторы как элементы, представляющие собой источник опасных ионизирующих излучений, должны быть отделены от жилых помещений многослойной защитой. Многочисленными физическими исследованиями было установлено, что наиболее эффективно от ионизирующих излучений различной природы (нейтронное, γ -излучение и др.) защищает именно многослойная изоляция, состоящая из различных поглотителей (природный уран, свинец, водородсодержащие пластмассы и т. п.).

Описанная выше станция при выходной мощности АЭС 5000 кВт может в течение 1 мес полета накопить на борту около 2 т кислорода либо 6 т азота или воздуха. Как известно, затратив небольшую добавочную мощность, можно организовать прямо на борту станции получение стойкого химического соединения — азотного тетроксиды, который при нормальных условиях представляет собой жидкость (хороший окислитель) и не требует поддержания криогенных температур, необходимых в случае хранения ожиженных газов.

Несмотря на то что накопительная станция представляет собой довольно сложное и дорогостоящее космическое сооружение,

ее продолжительная (многолетняя) эксплуатация должна окупаться значительно меньшей стоимостью накопления кислорода на орбите по сравнению со стоимостью его доставки на орбиту транспортными ракетами будущего.

Существуют и другие возможности использования описанного выше космического уникального сооружения. Закончив цикл накопления массы, такая станция может сама под действием собственных ядерно-электрических двигателей совершить путешествие на окололунную орбиту. Может быть совершено путешествие и на орбиту Марса.

Более того, использование станции для перелета между планетами, имеющими атмосферу, может оказаться значительно более выгодным, если осуществлять накопление массы не только у Земли, но и у планеты назначения (Марса, Венеры и т. п.). Очевидно, что указанный способ межпланетных путешествий при значительном (многолетнем) ресурсе ядерно-энергетических систем может оказаться весьма эффективным.

В небольшом разделе невозможно даже кратко охарактеризовать многочисленные и сложные проблемы, встающие на пути создания околоземных накопительных станций. Тем не менее большинство специалистов как в нашей стране, так и за рубежом склонны считать осуществление этого проекта весьма реальным даже в недалеком будущем, так как уже сейчас закладываются основы для длительного пребывания на орбите операторов будущих станций.

Рассмотрим только один пример. 19 августа 1979 года в 15 ч 20 мин по московскому времени завершился 175-суточный космический полет советских космонавтов В. А. Ляхова и В. В. Рюмина на корабле «Союз-32», начатый 25 февраля 1979 года. 26 февраля корабль был состыкован со станцией «Салют-6», и экипаж приступил к работе на борту орбитального комплекса. Для обеспечения длительного функционирования комплекса космонавты выполнили значительное количество ремонтно-профилактических работ. На станцию систематически доставлялись топливо, оборудование, аппаратура, расходные материалы. Для этих целей использовались грузовые транспортные корабли «Прогресс-5», «Прогресс-6», «Прогресс-7», беспилотный корабль «Со-

юз-34». С орбиты на Землю также доставлялись материалы, содержащие результаты космических исследований. Для этого был использован космический корабль «Союз-32».

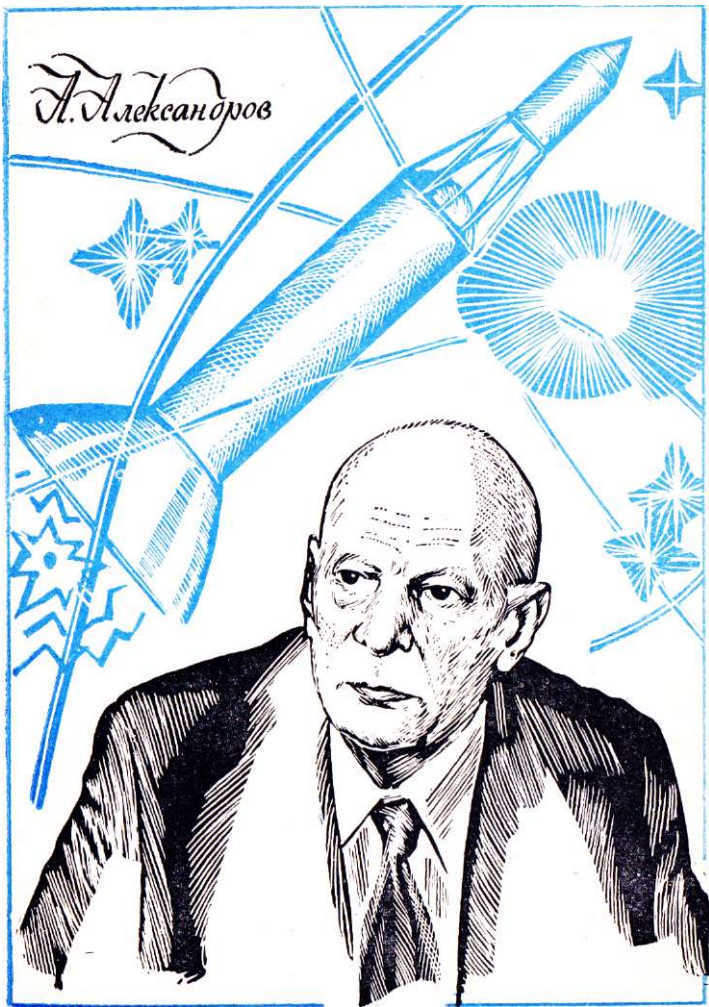
Программа работ экипажа космического орбитального комплекса была широка и разнообразна: визуальные наблюдения и фотографирование земной поверхности; работы, направленные на исследование природных ресурсов Земли и изучение окружающей среды; монтаж космического радиотелескопа КРТ-10; проведение с его помощью астрофизических и геофизических исследований в интересах науки и народного хозяйства; проведение большого количества технологических экспериментов.

Небольшой отдых на земле, и В. В. Рюмин, теперь уже в составе другого экипажа, отправляется снова в космос. 11 октября 1980 года успешно закончился этот самый длительный 185-суточный космический полет на орбитальной станции «Салют-6». Таким образом, В. В. Рюмин находился в космосе в общей сложности больше года.

В ходе полетов было выяснено, что человек в условиях длительной невесомости может активно работать и поддерживать хорошее состояние здоровья. Таким образом, вопрос о персонале орбитальной накопительной станции с учетом сменяемости экипажей может считаться решенным.



А. Александров



13. ТЕРМОЯДЕРНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ

В предыдущих разделах говорилось о перспективных ракетных системах будущего, создание которых потребует освоения новой технологии, новых инженерных методов, наконец, новых изобретений, но базируется на известных физических принципах.

Мы попытаемся кратко рассказать о ряде систем, создание которых невозможно без разрешения принципиальных физических проблем на уровне открытия новых закономерностей природы.

В первую очередь необходимо остановиться на управляемых термоядерных реакциях, овладение которыми позволит приступить к созданию термоядерного двигателя, а в дальнейшем — и к созданию термоядерной тяговой системы. Заметим при этом, что перспективность управляемых термоядерных энергетических систем в космонавтике объясняется практически неисчерпаемыми запасами внешних массово-энергетических ресурсов, в частности межпланетного и межзвездного водорода — основного компонента космической среды. В этом плане предложения о создании термоядерных двигателей взрывного типа, работа которых основана на возможности осуществления серии последовательных термоядерных взрывов за специальным экраном-отражателем, представляются менее предпочтительными, так как предусматривают использование только бортовых ресурсов. Нередко привлекательность взрывных термоядерных двигателей объясняют возможностью полезно израсходовать с их помощью накопленные в ряде стран запасы термоядерных (водородных) бомб, когда народы мира придут к соглашению о всемирном разоружении. Нам представляется, что ни с политической, ни с технической точки зрения этот довод не выдерживает критики. Накопленное термоядерное оружие можно утилизировать, если это будет необходимо для достижения более полной разрядки, куда более эффективно и в более короткий срок, не тратя долгие годы на ожидание того, когда будет создано уникальнейшее и сложнейшее новое инженерное космическое сооружение.

«По-видимому, появление первых образцов термоядерной энергетики на промышленной арене следует ожидать к концу нашего столетия. Это откроет перед человечеством необычайные горизонты, позволит восстанавливать ресурсы нашей планеты...» — эта мысль, высказанная * выдающимся советским физиком президентом Академии наук СССР академиком А. П. Александровым, как нельзя лучше подтверждает приведенные выше соображения. Во-первых, до появления космических термоядерных двигателей еще далеко, тогда как разрядка и мирная утилизация боевых термоядерных зарядов являются требованием нашего времени. Во-вторых, уже сейчас очевидна важность научных исследований по практическому применению термоядерной энергетики, в том числе и в космонавтике.

Хорошо известно, что энергетика космических ракет является существенным потребителем земных ресурсов, которые в виде топливных компонентов заполняют баки стартующей ракеты. Естественно, что применение внешних ресурсов атмосферы и особенно космического пространства (речь идет о водороде) приведет к восстановлению земных ресурсов, несмотря на увеличение темпов и масштабов космических операций.

Итак, об управляемых реакциях. В многочисленных проектах термоядерных управляемых устройств предусматривается начальный иницирующий нагрев реагирующего вещества (трития, дейтерия, водорода) до температуры в несколько миллионов градусов. Эта температура должна соответствовать энергии, достаточной для слияния ядер, в результате которого и выделяется огромная энергия термоядерного синтеза. Так, для слияния дейтона и тритона (тяжелые изотопы ядер водорода, содержащие соответственно один и два нейтрона) требуется энергия 5 кэВ, для слияния двух дейтонов — 35 кэВ, а двух ядер водорода (двух протонов) — 50 кэВ. Естественно, что для иницирования реакции надо прежде всего подобрать исходные компоненты, требующие как можно меньшую энергию начала термоядерного синтеза. Именно к таким иницирующим компонентам и относится смесь дейтерия и трития, а также выявленная в последнее время перспективная

* А. П. Александров. Будущее энергетики. — «Коммунист», № 1, 1977, с. 67.

смесь дейтерия и гелия-3. Нагревая в замкнутом пространстве дейтериево-тритиевую плазму — четвертое (ионизованное) состояние вещества, — можно осуществить термоядерный синтез, при котором выделяется $3,5 \cdot 10^{11}$ кДж/кг энергии. В настоящее время ученые работают как раз над этой первой фазой термоядерного синтеза — над проблемой разогрева плазмы. Трудностей здесь много.

Существуют и другие способы инициирования термоядерной реакции, например, с помощью интенсивного лазерного импульса, энергия которого концентрируется в центре сферической камеры или в каком-либо из фокусов эллипсоидной камеры с дейтериево-тритиевой смесью. Подобные устройства рассчитаны на импульсный (пульсирующий) режим работы.

После «зажигания» плазмы, т. е. после начала термоядерного энерговыделения, в зону реакции необходимо подавать водород — наиболее дешевое и распространенное термоядерное горючее. Заметим, что в 1 т обычной морской воды содержится около 100 кг водорода, который может обеспечить выделение $3,6 \cdot 10^{12}$ кДж энергии. Попутно заметим, что там же содержится примерно 160 г тяжелой (дейтериевой) и 0,036 г сверхтяжелой (тритиевой) воды, т. е. сырья для получения начального (пускового) импульса термоядерного реактора.

Одновременно с подачей в зону реакции газообразного водорода требуется разработать способ выведения из зоны реакции «шлака», т. е. гелия. По-видимому, при работе наземных термоядерных электростанций этот чрезвычайно ценный и полезный газ в атмосферу выпускать будет нецелесообразно. Лучше всего предусмотреть его охлаждение и сбор в специальных газохранилищах (газгольдерах). Напомним, что жидкий гелий нужен для сверхпроводниковой техники, газообразный гелий — хороший теплоноситель для энергосистем и безопасный наполнитель аэростатов. Он широко применяется и в ракетной технике, например для надува топливных баков.

В тех же наземных термоядерных электростанциях предполагается передавать получаемую энергию рабочему телу за счет торможения в нем таких продуктов реакции, как, например, протоны, нейтроны или ядра гелия. γ -Излучение появляется при должной очистке исходных продуктов только как вторичный эффект,

вызванный поглощением нейтронов некоторыми конструкционными материалами. В этом состоит еще одно принципиальное отличие реакторов синтеза от реакторов деления, поскольку в последних на долю γ -излучения приходится значительная доля выделяемой энергии. Как известно, для защиты от γ -излучения требуются элементы с большим атомным номером (свинец, природный уран и т. п.). Вот почему проблема радиационной защиты для термоядерных реакторов представляется менее острой и более легкой в расчете на единицу вырабатываемой мощности. Да и сам термоядерный реактор, как нетрудно понять, может оказаться (опять-таки в пересчете на единицу мощности) значительно легче ядерного. Масса наиболее тяжелых его элементов (катушек и железных сердечников) в случае применения сверхпроводниковой техники может быть резко уменьшена.

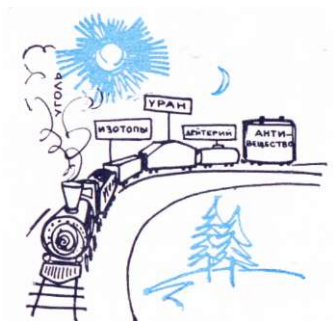
Все эти обстоятельства делают весьма перспективными попытки создания на базе термоядерного реактора принципиально нового типа космического ракетного двигателя — термоядерного. Предварительные исследования показывают, что подобный двигатель должен обладать совершенно уникальными характеристиками: при тяге 1800 кН и массе около 3 т (примерно эти параметры характерны для водородно-кислородного двигателя американской системы «Космический челнок») он будет развивать удельный импульс (удельную тягу) 18 000 с, что более чем в 30 раз выше удельного импульса даже самых лучших из перспективных химических двигателей. Заметим для сравнения, что удельный импульс ядерных ракетных двигателей с твердой активной зоной и водородом в качестве рабочего тела не превышает 900 с, а с газообразной (плазменной) активной зоной — 2500 с.

Итак, двигатели, созданные на базе термоядерных реакторов, являются принципиально новым шагом на пути развития космических тяговых систем. Эти двигатели позволят человеку, в подлинном смысле слова, стать хозяином Солнечной системы, достигнуть ее самых удаленных планет (Урана, Нептуна, Плутона), совершить полеты за пределы эклиптики, организовать дальние экспедиции в межзвездное пространство, наладить постоянную транспортную связь между планетами земной группы (Марс, Земля, Венера), организовать посещение спутников Юпитера, Сатурна,

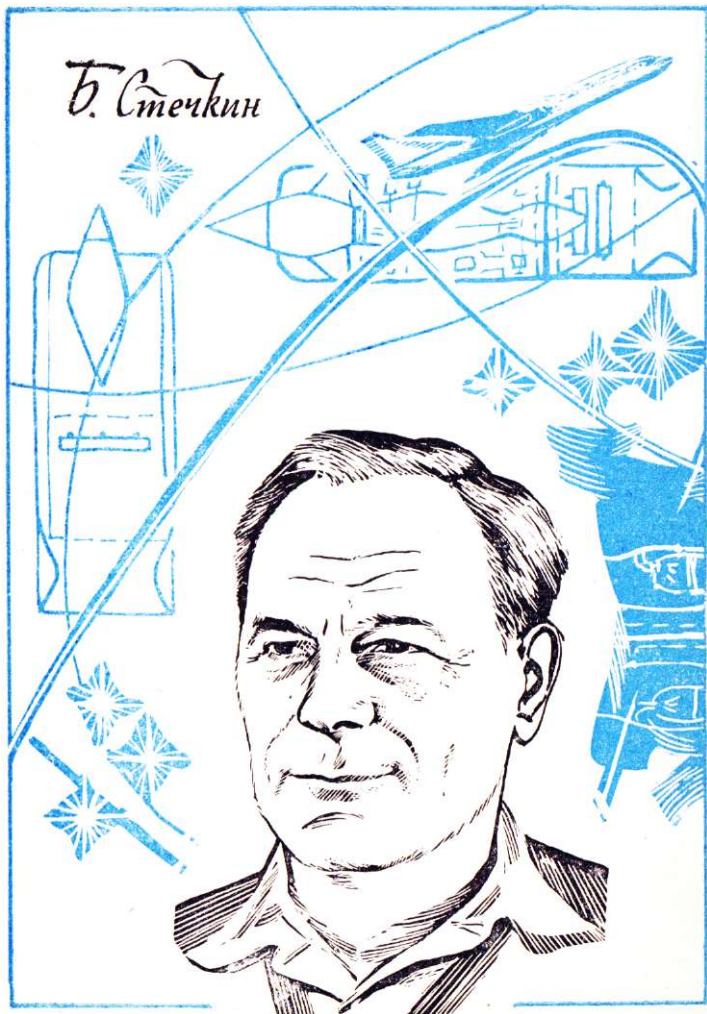
а главное — перейти к созданию первых тяговых систем, характерных для космических цивилизаций.

С нашей точки зрения, такими тяговыми системами должны быть системы, не зависящие от бортовых запасов энергии и массы, а черпающие их в необходимом количестве извне, из окружающего пространства.

Именно о таком устройстве и пойдет речь в дальнейшем.



Б. Стечкин



14. КОСМИЧЕСКИЙ ПРЯМОТОЧНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ

Рассмотренный в гл. 12 способ использования внешних ресурсов, состоящий в предварительном накоплении атмосферных компонентов при орбитальном полете и в дальнейшем их применении в качестве реактивной массы электрореактивных двигателей, пригоден только для полетов в пределах Солнечной системы.

Для более дальних полетов, скажем, к ближайшим звездам, этот способ, по современным представлениям, оказывается непригодным. Вместе с тем полет к звездам без использования внешних ресурсов представляется (также по современным воззрениям) практически невозможным, если даже применить для этого термоядерный двигатель, описанный в гл. 13. Известно, что даже для идеальной реакции термоядерного синтеза (все вещество реагирует без остатка) и идеального термоядерного двигателя (вся энергия расходуется на создание тяги) отношение конечной массы летательного аппарата, ускоренного до скорости, составляющей 90% световой, к начальной массе составляет ничтожно малую величину 0,001%, что явно не может считаться приемлемым.

В связи с этим попытаемся рассмотреть возможный облик тяговой системы, пригодной для осуществления полетов за пределы Солнечной системы, тем более что интерес к таким полетам и к характеристикам соответствующих технических средств проявляется уже сейчас как со стороны специалистов в области космонавтики, так и со стороны ученых, исследующих проблемы обнаружения деятельности внеземных космических цивилизаций.

Можно предположить, что обе задачи — и полет к ближайшим звездам, и обнаружение космических цивилизаций — станут в недалеком будущем практической необходимостью для человечества. Вот почему и тяговые системы, которые могли бы быть использованы для этих полетов, все чаще находят отражение в технической литературе практически всех промышленно развитых стран.

Здесь будет рассмотрен межпланетный прямоточный двигатель, который, как нам представляется, является промежуточной

ступенью для создания двигателя, пригодного для обеспечения межзвездных полетов. Заметим, что, по современным представлениям, межпланетная и межзвездная среда состоит в основном из водорода, примерно 1% которого приходится на дейтерий, и гелия.

Для предварительных расчетов можно принять, что межпланетная среда состоит из водорода, находящегося в молекулярном, атомарном и ионизованном состояниях. Таким образом, основной энергетического процесса двигателя можно считать получение на борту летательного аппарата термоядерной энергии, выделяемой в результате синтеза космического водорода.

Теория прямоточного двигателя, как и вообще всех воздушно-реактивных двигателей, основывается на фундаментальной работе Б. С. Стечкина «Теория воздушно-реактивного двигателя», которую этот выдающийся ученый, ставший впоследствии видным академиком, опубликовал в 1929 году. Захват внешней среды, подвод к ней энергии и выброс реактивной массы через ускоряющее поток сопло — этот принцип одинаково справедлив как для создания двигателей, работающих в атмосферах планет, так и для межпланетных и межзвездных двигателей.

На базе работ Б. С. Стечкина было создано целое семейство авиационных реактивных двигателей. Кроме того, обширные знания и талант этого ученого распространились и на заатмосферную область. В 30-х годах он был научным консультантом ГИРДа, читал лекции по теории реактивного движения, работал в тесном контакте с С. П. Королевым, был активным пропагандистом идей об использовании внешних ресурсов массы и энергии в ракетно-космической технике.

Итак, внешний вид космической ракеты с термоядерным прямоточным двигателем необычен: навстречу полету, на большое расстояние от корабля вытянулся ярко-фиолетовый ионизирующий луч, выходящий из передней точки заостренного центрального тела геометрического конусообразного массозаборника. Этот луч может быть пучком ускоренных электронов, γ -излучением, рентгеновским или ультрафиолетовым излучением. Предназначен он для ионизации встречного (набегающего) потока водорода, или, если применяется пучок электронов, для предварительной фоку-

сировки (стягивания ближе к оси пучка) этого водорода за счет сил электростатического взаимодействия. Периферия электронного луча светится довольно сильно из-за ионизации в результате соударений с лучом не столько водорода, сколько немногочисленных примесей более тяжелых элементов.

По периметру геометрического массозаборника, имеющего довольно внушительные размеры (диаметр около 20 м и длина около 25 м), проложены в один-два слоя витки сверхпроводниковой катушки с током. Эта катушка представляет собой сложное инженерное сооружение. При ее работе на витки действуют огромные разрывающие усилия и силы, прижимающие витки друг к другу. Материал витков должен быть весьма прочен при сверхнизких (гелиевых) температурах, иметь малую плотность и допускать высокие значения плотности электрического тока. Как известно, сверхпроводимость может быть нарушена не только при нагреве сверхпроводника выше так называемой критической температуры, но и при достижении критической напряженности магнитного поля. С увеличением температуры критическая напряженность резко падает, ограничивая тем самым допустимую плотность тока. Вот почему в существующих проектах сверхпроводниковых устройств используются, как правило, гелиевые температуры, хотя уже известно большое количество материалов, обладающих сверхпроводимостью (для малых плотностей тока) при температурах жидкого водорода и еще более высоких. В настоящее время наилучшую совокупность необходимых для сверхпроводникового устройства характеристик имеет только бериллий, но не исключено, что в дальнейшем для этой цели будут открыты новые перспективные материалы, скажем, получен металлический водород или даже сплав (или соединение) металлического водорода с каким-либо из легких металлов. Конструкция витков должна предусматривать их интенсивное охлаждение жидким гелием (температура около 4 К), причем без выброса гелия в окружающее пространство. Как известно, гелий весьма текуч, он просачивается не только сквозь мельчайшие зазоры в арматуре, но и проникает буквально «сквозь стенки», даже металлические. В крайнем случае, эта неизбежная потеря должна восполняться посредством отбора части гелия, получаемого от термоядерного синтеза.

Только что описанная катушка нужна для формирования магнитного поля, фокусирующего набегающий поток. Ионизированные частицы внешнего набегающего потока (в основном протоны и электроны) встречаются с магнитным полем и начинают двигаться вдоль магнитных силовых линий, вращаясь вокруг них по спиралям. Поскольку магнитные силовые линии сходятся у входа в геометрический массозаборник, частицы фокусируются этой своеобразной магнитной воронкой. Оказывается, что подобный способ фокусирования набегающих частиц позволяет значительно увеличить эффективную площадь входа массозаборника. Прогнозируя современные достижения в получении магнитных полей описанным выше способом, можно подсчитать эффективный диаметр подобного электромагнитного массозаборника на 2000 г. Цифра получается внушительная — около 1000 км.

Очевидно, что такое входное устройство даже при весьма незначительной плотности межпланетной среды ($\rho = 10^{-17}$ кг/м³) будет весьма эффективным. Например, при полете со скоростью 100 км/с за 1 с в массозаборник поступит около 1 кг водорода. Если предположить, что 75% поступившего водорода прореагирует в термоядерном устройстве, то выделение энергии будет равно $5 \cdot 10^{11}$ кДж/с. Поскольку доля энергии, требуемая для обеспечения внутренних потребностей корабля (в частности, для создания магнитного фокусирующего поля и работы бортовых систем), весьма незначительна, будем считать, что вся выделяющаяся энергия идет на создание тяги.

Тяга прямоточного межпланетного двигателя создается за счет передачи выделившейся энергии, захваченной массозаборником, внешней массе (дефект, или убыль, массы в результате реакции синтеза и отбор гелия на внутренние нужды можно считать пренебрежимо малыми). Численно тяга определяется приростом скорости захватываемого вещества, умноженным на массовый секундный расход этого вещества. Поскольку в нашем частном случае массовый секундный расход равен единице, тяга просто равна приращению скорости захватываемого потока, которое оказывается стократным. Соответственно тяга такого идеального двигателя будет огромной — около 10^{12} Н.

Тяга реального устройства будет, конечно, намного меньше.

Во-первых, при фокусировке встречного потока могут возникнуть различные виды неустойчивости, вследствие которых часть потока пройдет мимо геометрического массозаборника из-за диффузии частиц поперек магнитного поля. Во-вторых, не все поступившие в реактор частицы прореагируют. Наконец, в-третьих, выделяемая энергия перейдет в энергию реактивной струи не полностью. Реальная тяга космического термоядерного прямоточного двигателя окажется на уровне 100 тс. Поскольку масса корабля составляет около 200 т, получается весьма эффективное устройство, способное ускориться за ограниченное время от орбитальных околоземных скоростей (примерно 8 км/с) до скоростей, превышающих 1000 км/с. Такой летательный аппарат будет способен совершать полеты к Марсу и Венере за 2—3 месяца, а к дальним планетам Солнечной системы, включая Нептун и Плутон, за несколько лет.

Более того, продолжительность и дальность полета этой ракеты будущего зависят только от ресурса бортовых систем и никак не связаны с запасами бортовой массы и энергии — и то и другое черпается из внешней среды. Даже начальные бортовые запасы пускового термоядерного горючего (дейтерия и трития) могут быть восполнены в процессе полета, так как эти изотопы водорода также имеются в межпланетной среде.

В заключение необходимо, по-видимому, остановиться на двух принципиальных моментах. Во-первых, следует сказать несколько слов о защите корабля от микрометеоритов и космической пыли, поскольку огромные скорости полета несомненно окажутся зависимыми от возможности организации такой защиты. И, во-вторых, следует описать процесс торможения аппарата у планеты назначения.

Исследования показывают, что обе проблемы могут быть разрешимы наиболее естественным образом, так как выбранный принцип функционирования системы как бы сам собой позаботился о ее живучести и удобстве эксплуатации.

Микрометеориты и космическая пыль при облучении мощным электронным ионизирующим лучом (заметим, что уже в настоящее время созданы так называемые мегаамперные ускорители электронов) распадаются на отдельные атомы и молекулы, т. е. нагреваются и испаряются. Эти атомы и молекулы в дальнейшем

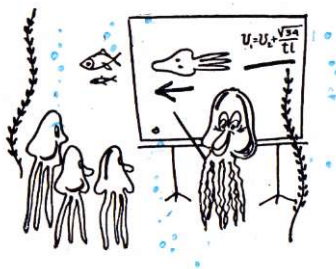
ионизируются тем же электронным лучом и ведут себя подобно остальным частицам окружающей среды. После входа в массо-заборник, нейтрализации, рекомбинации и охлаждения эти частицы должны быть, по-видимому, отделены (отсепарированы) от водорода, так как, по современным представлениям, примеси значительно затрудняют организацию термоядерной реакции.

Встреча с крупными (которые невозможно испарить) метеоритами, например, при полетах в зоне расположенного между Марсом и Юпитером «пояса астероидов», может быть предотвращена посредством раннего обнаружения метеорита по вторичному рентгеновскому излучению, вызванному облучением его электронами, и проведения маневра уклонения летательного аппарата, предотвращающего нежелательное столкновение. Этот маневр упростится, если локаторы службы метеоритной защиты корабля обнаружат метеорит, идущий на столкновение не встречным, а боковым курсом. Чтобы избежать столкновения, достаточно затормозить корабль, переведя реактор в режим минимального энерговыделения, обеспечивающего лишь внутренние нужды. При этом основная часть захватываемой внешней массы поступит не в реактор, а выбросится наружу через специальные сопла, расположенные между витками катушки и направленные перпендикулярно к оси летательного аппарата. Выбрасываемая масса ионизована, поэтому, диффундируя поперек магнитного поля, она увлечет его за собой и приведет к дополнительному раскрытию «магнитной воронки», которая в данном случае работает просто как тормоз. Тормозная сила для рассматриваемого летательного аппарата при скорости полета 10^5 м/с равна 10^5 Н, или 10 тс. Как видим, сила численно равна скорости полета, так как расход массы составляет 1 кг/с. При других скоростях полета тормозная сила равна скорости полета, умноженной на секундный расход захваченной массозаборником массы.

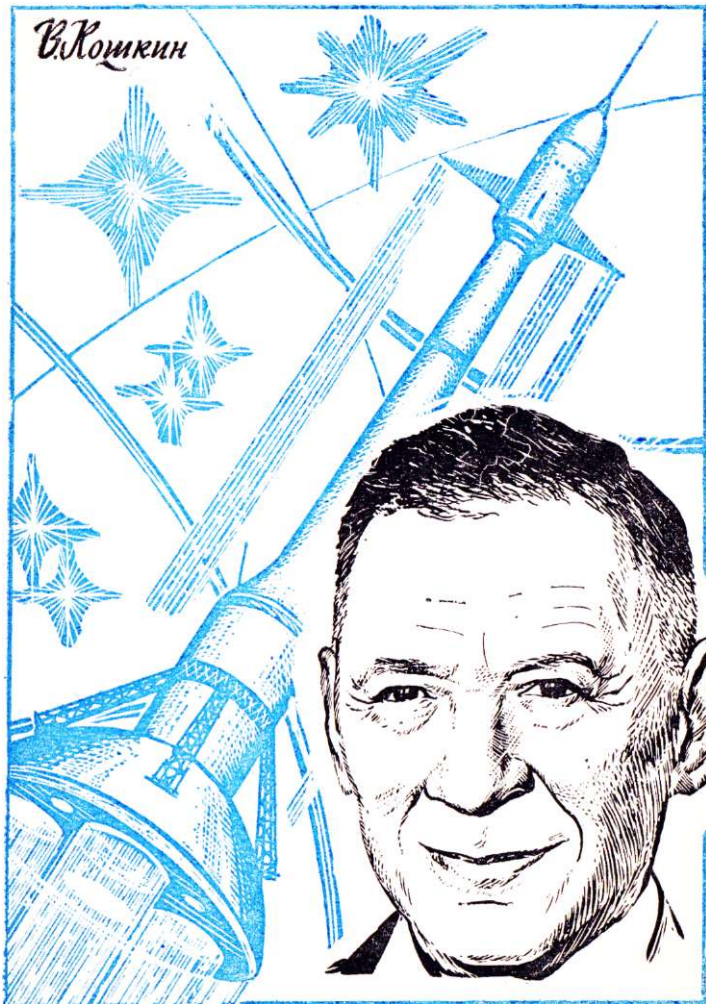
Таким образом, оказывается, что обе проблемы — и защита от метеоритов, и торможение — принципиально разрешимы с помощью одной и той же тяговой системы, в основе которой находится термоядерный прямоточный двигатель.

При рассмотрении космического аппарата ничего не было сказано об его многочисленных вспомогательных системах. Системы

управления; радиосистемы; системы, обеспечивающие магнитный, электростатический и температурный режимы всех элементов аппарата; системы, обслуживающие сердце корабля (термоядерное устройство и движитель — ускоритель реактивного потока), представляют собой сложнейшие кибернетические устройства, рассказывать о которых надо было бы более подробно.



В. Кошкин



15. ФОТОННАЯ РАКЕТА

Стремительные темпы развития авиационной и ракетно-космической техники вынуждают с еще большей быстротой развиваться научные, дисциплины, обеспечивающие успех создания новых летательных аппаратов и их силовых установок.

«Современное состояние двигателестроения, наряду с развитием тепловых двигателей уже известных типов, настоятельно требует расширения научно-исследовательских работ в целях выявления возможных новых типов эффективных теплосиловых установок» — эта мысль*, высказанная замечательным советским ученым более двух десятилетий тому назад, сохраняет всю свою актуальность и в наши дни, когда начинаются исследования фотонных ракет. Речь идет о профессоре В. К. Кошкине — известном педагоге, воспитавшем не одно поколение советских ученых.

В. К. Кошкин внес огромный личный вклад в развитие таких научных дисциплин, как термодинамика, теплопередача, двигателестроение. Развитие этих фундаментальных дисциплин диктовалось развитием различных типов двигателей для летательных аппаратов, а двигателей на веку профессора В. К. Кошкина сменилось немало: паровые**, поршневые бензиновые и дизельные, свободнопоршневые, воздушно-реактивные, жидкостные ракетные, комбинированные, ядерные, плазменные, ионные...

И вот наступила очередь фотонного. Новые проблемы, новые «неразрешимые» трудности термодинамического описания процессов, совершенно фантастические энергетические процессы.

Большинство описаний гипотетических тяговых систем для обеспечения межзвездных полетов посвящено фотонным ракетам,

* В. К. Кошкин, Б. Р. Левин, И. Н. Кутырин и др. Двигатели со свободно движущимися поршнями в теплосиловых установках. М., Машгиз, 1957.

** Напомним, что первый в мире авиационный двигатель, установленный на самолете А. Ф. Можайского, был паровым. Изучение устройства и принципов работы паровых машин входит в программу авиационных вузов подобно тому, как обучение морскому делу начинается с парусных судов.

тяга которых создается за счет истечения квантов электромагнитного излучения. В идеальном случае, когда вся мощность двигателя переходит в направленное излучение, тяга (в Н) будет равна этой мощности (в кВт), умноженной на коэффициент $3,3 \cdot 10^{-6}$, и не будет зависеть ни от длины волны излучения, ни от типа его источника.

Очевидно, что даже карманный электрический фонарик может называться миниатюрным фотонным двигателем. Мощные газосветные лампы, освещающие улицы и площади, а особенно лампы «Сириус», развивают уже ощутимую тягу. Но подобные устройства, к сожалению, для сверхдальних полетов не пригодны из-за весьма тяжелых энергетических источников. Даже идеальная реакция полной аннигиляции вещества и антивещества, которая обеспечивает наивысшее выделение энергии, так как в нее превращается вся масса исходных продуктов, и та обеспечивает массовую отдачу всего 23%. Многие предпосылки и расчеты, касающиеся межзвездных полетов, делались на основе представлений, почерпнутых из ракетной техники сегодняшнего дня. Предполагалось, что космическая среда в тяговых системах использоваться не может из-за чрезвычайной разреженности, что все необходимые для создания тяги массово-энергетические ресурсы (а для идеальной фотонной тяговой системы запас массы и энергии — одно и то же) должны размещаться перед полетом на борту летательного аппарата. Такое предположение рождало массу неразрешимых, по современным представлениям, проблем. Получение и хранение антивеществ, организация аннигиляционного процесса, фокусировка фотонов — это еще далеко не полный их перечень.

Вот почему многие исследователи проблемы межзвездных полетов стали склоняться к мысли о необходимости использования прямоточного принципа создания тяги и для этого случая.

Рассмотренный в предыдущем разделе термоядерный прямоточный двигатель принципиально пригоден и для межзвездных полетов, так как отсутствие бортовых запасов массы и энергии снимает ограничение на дальность полета. По современным данным, плотность межзвездного водорода значительно меньше чем межпланетного, и равна $2 \cdot 10^{-21}$ кг/м³ (на 1 см³ приходится только

один атом!). Следовательно, при скорости полета 100 км/с тяга двигателя окажется равной всего лишь нескольким ньютонам. Не выполняется, таким образом, второе необходимое условие межзвездного полета — его продолжительность при малых ускорениях, обеспечиваемых низкой тягой, будет значительно превышать продолжительность человеческой жизни. Вот почему такой двигатель будет пригоден, пожалуй, только для автоматических межзвездных зондов.

Еще одно обстоятельство. При постепенном ускорении летательного аппарата тяга двигателя рассматриваемого типа будет сначала возрастать из-за увеличения количества захватываемой массы, а затем по мере увеличения энергии набегающего потока начнет падать. Дело в том, что при увеличении скорости полета соответственно увеличивается энергия захватываемых частиц и требуется отдавать все большую мощность на увеличение интенсивности магнитного поля. Очевидно, что энергия реактивной струи уменьшается. Если же магнитное поле не увеличивать (допустим, катушка постоянно работает на пределе своих возможностей), то тогда энергия и тяга струи уменьшатся из-за меньшего секундного расхода захватываемого массозаборником водорода. Естественно, что уменьшение и без того низкой тяги приведет к невозможности достижения ракетой значительных — не говоря уж об околосветовых — скоростей полета.

Вывод один — надо применять антивещество, так как только реакция аннигиляции может дать необходимый для достижения нужного эффекта энергетический выход.

Рассмотрим прежде всего возможность использования межзвездного антивещества. Ученые подсчитали, что среди обычного водорода может находиться примерно $0,5 \cdot 10^{-7}$ часть антиводорода или антигелия. Соединяясь с обычным веществом, эти частицы дадут возможность захватывать массозаборником 10^{-7} часть аннигиляционного горючего, каждый килограмм которого выделяет предельно возможную энергию $9 \cdot 10^{13}$ кДж, что примерно в 1000 раз больше энергии, выделяемой при синтезе водорода. Существуют гипотезы, что в различных районах нашей Галактики, а тем более в межгалактическом пространстве имеются целые области, состоящие в основном из антивещества (предполагают да-

же, что имеются антизвезды и антигалактики!). Тем не менее эти гипотезы пока подтверждения не нашли, и нам остается констатировать «печальный» факт — доля антивещества во внешней среде слишком мала, чтобы дать сколько-нибудь ощутимый вклад в энергетический выход от термоядерной реакции.

Итак, на борту ракеты необходимо запастись антивеществом, которое при достижении ею скорости полета 200—300 км/с с помощью термоядерного прямоточного двигателя следует использовать для получения «фотонной» тяги и дальнейшего разгона.

Рассмотрим сначала проблемы получения и хранения антивещества. Об этих проблемах мало сказать, что они далеки от решения. Современное состояние физики таково, что они не могут даже быть поставлены на повестку дня. И тем не менее успехи современного физического эксперимента с каждым днем приближают нас к такой возможности. Начнем с того, что создание крупнейших ускорителей в Дубне и Серпухове позволило получить и исследовать свойства антипротона — ядра антиводорода, а затем ядер антидейтерия и антигелия. Еще пока нет установок для получения пучков этих «антиядер», но, когда они будут созданы, проблема получения упомянутых антиэлементов окажется, по-видимому, разрешимой. Дело в том, что оснастить полученные «антиядра» антиэлектронами (т. е. позитронами — частицами, равными по массе электронам, но имеющими положительный заряд) значительно проще. Позитроны научились уже не только получать, но и накапливать в значительных количествах в так называемых «накопительных кольцах» — кольцевых магнитных системах, напоминающих ускорители. Смешивая «антиядра» и позитроны, можно получить нейтральную плазму антивещества. Как известно, плазма при магнитной изоляции может продолжительное (по физическим понятиям) время не вступать в контакты со стенками камер. К сожалению, такое антивещество еще не может считаться пригодным для хранения на борту ракеты. Необходимо разработать процесс охлаждения вплоть до отвердевания, скажем, антидейтерия. Твердый антидейтерий обладает достаточной плотностью для того, чтобы его можно было разместить в межзвездной ракете. Кроме того, контейнеры для его хранения не нужны. Сферические или цилиндрические глыбы антидейтерия будут удерживаться

живаться вблизи корабля с помощью электростатических полей определенной формы при постоянном (динамическом) регулировании.

В настоящее время пока нет представления о том, каким способом подавать антивещество в зону реакции. Может быть, будет пригоден «простой» метод эрозии антивещества вследствие взаимодействия с ним потока вещества, захваченного массозаборником. Обсуждается и другой способ эрозии и разгона антивещества с помощью лазерной установки. Разгон необходим и для организации реакции аннигиляции, и для получения необходимого КПД преобразования энергии в тягу. Учеными было установлено, что доля «чистой» аннигиляции, т. е. перехода протонов и антипротонов непосредственно в излучение при энергии их взаимодействия 1,6 ГэВ, составляет 30% и растет при дальнейшем увеличении этой энергии. При взаимодействии «покоящихся», т. е. имеющих очень небольшую энергию, частиц и античастиц «чистой», или полной, аннигиляции нет совсем. Вместо этого протоны и антипротоны последовательно рожают π -мезоны, затем μ -мезоны и, наконец, электронно-позитронные пары, которые и завершают аннигиляцию, переходя в излучение. Отрицательные и положительные π -мезоны («элементарные» частицы, масса которых в 273 раза больше массы электрона) образуют при этом на короткое время нейтральные пары — мезоатомы, которые не фокусируются магнитным полем. То же самое можно сказать и о μ -мезонах, и об электронно-позитронных парах.

В целом можно отметить, что расстояние, проходимое веществом и антивеществом в процессе аннигиляции и ускорения, будет равняться нескольким километрам, поэтому изображать фотонные двигатели с короткими камерами аннигиляции, как это нередко делают в популярных книгах, по-видимому, бессмысленно уже сейчас. Аннигиляция и ускорение квантовой струи (а точнее, квантового потока) должны происходить вне пределов корабля и взаимодействовать с ним только лишь посредством электромагнитных сил. Образование несфокусированных квантов электромагнитного излучения на промежуточных и завершающей стадиях аннигиляции требует создания фокусирующего устройства. В настоящее время хорошо изучен вопрос о возможности фоку-

сирования электромагнитных излучений с помощью твердых поверхностей. Оказалось, что даже самый лучший отражатель коротковолнового светового излучения (фиолетовая область) видимого спектра — полированный алюминий — поглощает при длине волны 0,2 мкм около 60% падающего потока. Серебряные зеркала для этой области спектра вообще не годятся, так как поглощают 90% излучения.

Таким образом, зеркало оказывается чрезвычайно громоздким, требует интенсивного охлаждения и, что самое главное, поглощает почти все падающее излучение. Были попытки рассмотреть лазерные кристаллические системы. Поглощаемое в кристаллах коротковолновое излучение преобразуется и высвечивается в виде когерентного (синхронного) излучения с большей длиной волны, благодаря чему его можно очень хорошо фокусировать. К сожалению, и эти весьма перспективные устройства непригодны из-за большой массы и сложности конструкции.

Наиболее перспективным (по современным представлениям) считается предложение о фокусировании квантов с помощью дискообразного электронного облака, удерживаемого тем же магнитным полем, которое обеспечивает работу электромагнитного массозаборника. При полете межзвездной ракеты это облако под воздействием встречного потока изгибается и принимает форму огромной параболы, создавая тем самым более благоприятные условия для использования в создании тяги несфокусированных квантов. Заметим, наконец, что электронное облако создается устройствами, аналогичными тому, которое направляет навстречу потоку электронный луч (описанный в предыдущей главе), обеспечивающий работу электромагнитного массозаборника.

Представим теперь всю процедуру межзвездного полета. На околоземной орбите собран корабль, имеющий приемлемые даже по современным представлениям геометрические размеры. Диаметр массозаборника около 20 м, длина корабля не более 100 м. Сухая масса корабля находится в пределах 500—1000 т. Основные его элементы: массозаборник с магнитной и электронной фокусирующими системами; термоядерная энергоустановка проточного типа с электромагнитным двигателем, твердая поверхность которого выполнена в виде расширяющегося сопла; система хра-

нения и подачи антивещества; рабочие, производственные и жилые сферические отсеки с необходимой биологической защитой от излучений; системы ускорителей электронов; комплекс вспомогательных бортовых систем.

Старт корабля с орбиты ИСЗ происходит с помощью прямооточного термоядерного двигателя. На границе планетной системы — где-нибудь вблизи Нептуна или Плутона — корабль тормозится и принимает на борт, т. е. подвешивает с помощью электростатических сил, необходимые запасы твердого антиводорода или антидейтерия, подготовленного расположенным там заводом по производству антивещества. После тщательной и всесторонней проверки корабля состоится его передача экипажу. Количество членов экипажа 20—50 человек, отобранных из групп людей, которые с момента рождения проходили специальную подготовку и наблюдались врачами. Возраст, знания и навыки экипажа должны обеспечить возвращение через 60—70 лет ракетного времени, как минимум, трех звездоплывателей. По земным часам это время будет соответствовать десяткам тысяч лет из-за эффектов, предсказываемых теорией относительности.

Старт корабля происходит за счет тяги термоядерного устройства. Сначала из сопла появляется бледно-фиолетовое свечение — это включился малый термоядерный реактор, потребляющий бортовые запасы дейтерия и трития. Корабль медленно разгоняется. При достижении скорости 50 км/с навстречу набегающему потоку начинает вытягиваться ярко-фиолетовое копье электронного луча. Через некоторое время вокруг раструба массозаборника появляется едва заметное свечение и из сопла, постепенно удлиняясь, начинает истекать ослепительно-фиолетовая струя. Это включилось магнитное поле и начал работать прямооточный термоядерный двигатель. Скорость возрастает. Впереди корабля ярко вспыхивают редкие зеленоватые звездочки — гибнут встречные микрометеориты. Значительно реже такие же звездочки вспыхивают по бокам корабля — это работает автоматическая круговая противометеоритная лазерная защита. Корабль прощается с Солнечной системой.

Прошло уже несколько месяцев полета. Скорость достигла 200 км/с. Солнце уже нельзя отличить от других ярких звезд.

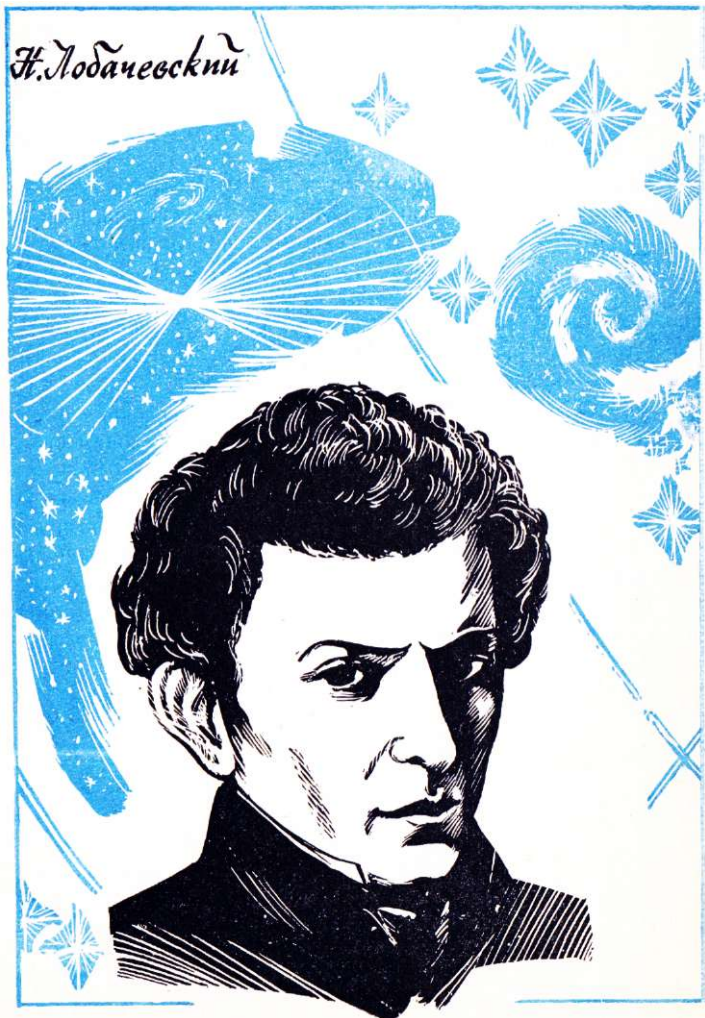
Еще и еще раз проверяются системы корабля и уточняется его курс. Пора включать фотонный двигатель. Появляется все усиливающееся свечение в плоскости, пересекающей магнитную систему массозаборника перпендикулярно к оси корабля — заработали тангенциальные инжекторы электронов, формирующие электронное зеркало. По мере увеличения яркости свечения становится заметной огромная светящаяся чаша параболы, вершина которой совпадает с началом массозаборника, а изогнутые образующие простираются на многие десятки километров, как бы охватывая реактивную струю. Но вот струя стала удлиняться, на ней появились светящиеся пульсирующие узлы, а окружающая струю парабола вспыхнула ярко-фиолетовым пламенем. Это с помощью специального электростатического манипулятора один из многочисленных «ледовых» зарядов антивещества, хранящихся «в тени» сбоку летательного аппарата, переместился в центр массозаборного устройства и с помощью тех же электростатических сил стал прочно удерживаться в заданном положении. Форма и размеры этого заряда обеспечивают нужный режим работы тягового устройства. Поступающее в массозаборное устройство вещество окружающей среды обтекает заряд антивещества, соприкасается с ним, вызывает эрозию антивещества в результате местных аннигиляционных, электромагнитных и тепловых процессов и тем самым вовлекает антивещество в движущийся поток рабочего тела. В соответствии с эффектами теории относительности время, необходимое для полной аннигиляции вещества и антивещества, таково, что все процессы в реактивной струе занимают по протяженности несколько километров. Более того, эти процессы идут в несколько этапов, о которых уже говорилось ранее, поэтому сама реактивная струя напоминает сильно вытянутую струю работающего в атмосфере ракетного двигателя с характерными светящимися пережатиями, обусловленными структурой ударных волн. В случае же фотонного двигателя структура светящихся узлов другая — они обусловлены последовательными процессами аннигиляции, а их цвет — зелено-голубой в первом узле постепенно меняется до бледно-фиолетового в последнем. Таким образом, проточный межзвездный фотонный двигатель вышел на режим. Заметно возросла тяга. У экипажа пропало ощущение невесомости.

Прошло несколько суток, и земные службы наблюдения обнаружили вышедшие из давно намеченной точки безбрежного космоса долгожданные рентгеновские лучи-свидетели состоявшегося запуска фотонного двигателя и начала первого межзвездного полета.

Возникает вопрос — насколько реально создание описанного выше аппарата с фотонным двигателем. Чтобы ответить на этот вопрос, необходимо прежде всего сказать о потребности человечества в межзвездных полетах. Такая потребность есть. О ней в настоящее время много пишут не только в популярной, но и в научной литературе. «Погоня за светом и пространством» всегда сопровождала и будет сопровождать развитие человечества. Возникновение сначала идей, затем проектов и, наконец, реальных конструкций фотонных ракет следует рассматривать как следствие этой потребности в межзвездных перелетах. Возможности же создания таких ракет будут находиться в тесной зависимости от успехов фундаментальных и прикладных исследований по термоядерному синтезу, высокотемпературной сверхпроводимости, методов получения и хранения антивещества и т. п. Особое место в этих прогнозах будут иметь результаты фундаментальных работ по теории поля, элементарных частиц, особенно кварков и лептонов, а также по теории возникновения и развития Вселенной, поскольку оказывается, что изучение процессов, имевших место при рождении нашей Вселенной, может ответить на многие вопросы о строении мира, начиная от элементарных частиц и полей и до возможности существования антимиров.



Н. Поданевский



16. ВОЗМОЖНА ЛИ АНТИГРАВИТАЦИЯ?

Гравитационное притяжение тел — одно из наиболее загадочных и непознанных явлений природы. Вообще говоря, все известные физикам силы дальнего действия (гравитационная, электростатическая и магнитная) до сих пор загадочны и ничем не объяснимы. Что такое электрический заряд? Каковы его природа и протяженность в пространстве? Почему одноименные заряды отталкиваются, а разноименные притягиваются? На все эти вопросы наука еще должна получить ответы. Решение этих загадок, по видимому, станет началом новой эры в науке и технике, а возможно, и произведет настоящую революцию в понимании законов природы.

В настоящее время силы дальнего действия широко используются в практической деятельности людей, в том числе и в космонавтике. Они хорошо изучены количественно. В частности, теория притяжения Ньютона одинаково хорошо описывает как электростатическое, так и магнитное, и гравитационное взаимодействие тел на расстоянии. Более точные выражения даются общей теорией относительности Эйнштейна.

Если рассмотреть силы притяжения в рамках теории Ньютона, то, сравнивая напряженности и удельные объемные энергии гравитационного и электростатического полей, можно обнаружить в космосе огромные «запасы» гравитационной энергии. Даже у поверхности Земли плотность гравитационной энергии чрезвычайно велика. Она равна $1,6 \cdot 10^{11}$ Дж/м³, что намного превышает известный суммарный энергетический запас атмосферы (термоядерная энергия водяных паров, энергия конденсации и кристаллизации воздуха, тепловая, механическая и химическая энергии п. т. п.), равный у поверхности Земли 10^6 Дж/м³. Заметим для сравнения, что удельный энергетический эквивалент массы атмосферы на этой высоте равен 10^{17} Дж/м³, что, естественно, является физическим пределом, а удельная объемная энергия топлива существующих ракет (кислород + керосин) равна «всего лишь»

10^{10} Дж/м³. Иначе говоря, если приведенные выше рассуждения о гравитационной аналогии правильны, то открываются огромные возможности в использовании энергии нового типа — гравитационной. Собственно говоря, эта энергия уже и сейчас широко используется. Так, при организации полета к планетам или мимо планет учитывается их гравитационное притяжение, которое в ряде случаев позволяет снизить количество взятого на борт ракеты топлива. Но, к сожалению, сила гравитации всегда имеет один знак — массы всегда притягиваются. Это обстоятельство не только ограничивает возможности полезного использования энергии гравитации, но и приводит к так называемым гравитационным потерям при старте ракет с поверхности Земли.

А возможна ли отрицательная гравитация? Возможно ли такое состояние, когда тела отталкиваются, подобно двум одноименным зарядам? Этот вопрос и является основным в процессе исследования антигравитации или в более общей постановке в процессе исследования возможностей искусственного регулирования гравитации. Очевидно, что регулировать можно только такое явление, закономерности которого в той или иной мере известны, поэтому прежде всего стали появляться теории гравитации.

По-видимому, первым ученым, который задумался над этим явлением, был Ньютон (вспомним легенду о «яблоке Ньютона»), но подходящего объяснения он дать не мог.

«Не знаю, — писал Ньютон, — каким представляет себе меня мир, но самому себе я кажусь просто ребенком, который играет на морском берегу и забавляется, отыскивая лучше обкатанные камешки или более красивые, чем обычно, ракушки, в то время как великий океан истины лежит передо мной, еще девственно непознанный».

Первое правдоподобное физическое объяснение причины гравитации дал М. В. Ломоносов, который полагал, что притяжение тел является результатом их взаимодействия с огромным числом очень мелких частиц, пронизывающих Вселенную. Два тела притягиваются, воспринимая при поглощении импульс этих частиц и взаимно экранируя от них друг друга. В тех или иных вариантах эта теория гравитации сохраняется и до наших дней. В качестве «виновников» гравитационного притяжения рассматриваются

γ -кванты, нейтрино, гипотетические кварки — мельчайшие частицы с дробным зарядом, гравитоны, а иногда и другие «элементарные» частицы.

С появлением в начале века общей теории относительности Эйнштейна, которая иногда носит название теории гравитации, многое изменилось. Эйнштейн писал: «Только гений Римана, одинокий и непостижимый, уже в середине прошлого века достиг нового понимания пространства, и это была концепция пространства, лишенного жесткости, способность которого участвовать в физических явлениях была признана возможной». Иначе говоря, Эйнштейн рассматривал пространство не просто как арену, на которой происходят физические явления, но как равноправный физический фактор, способный изменяться под воздействием других физических факторов. Утверждалось мнение, что гравитация — это не что иное, как искривление пространства. Таким образом, несомненно материальное гравитационное поле отождествляется с геометрической структурой пространства—времени. Эйнштейн ошибался в одном. Этот новый подход к фундаментальной физической науке был предсказан не Риманом, а великим русским ученым Н. И. Лобачевским в 1829—1830 гг. Н. И. Лобачевский писал: «Итак, все прочие понятия, например, геометрические, произведены нашим умом искусственно, будучи взяты в свойствах движения, а потому пространство само собою, отдельно, для нас не существует». И далее: «...в том однако ж нельзя сомневаться, что силы все производят одни: движение, время, массу, даже расстояния и углы». Идеи Лобачевского прошли длинный путь, ведущий через работы великих немецких ученых Гаусса, Римана и Эйнштейна и глубоко проникли в современную физику.

Эти идеи всколыхнули многие физические (как теоретические, так и экспериментальные) исследования, подняли на новую высоту математические исследования в области высшей геометрии и надолго оставили след в других, более поздних теориях гравитации.

Как известно, еще Эйнштейн был не доволен своей теорией по двум причинам. Он не мог исключить понятие массы и не мог найти решение проблемы создания «единой теории», описывающей поведение как полей, так и элементарных частиц.

Новые теории многочисленны. Многие из них предусматривают квантование гравитационного поля, утверждая, что гравитационные кванты — гравитоны — могут переносить энергию гравитации подобно радиоволнам, которые переносят электромагнитную энергию, что в гравитоны при определенных обстоятельствах могут превращаться пары частица — античастица при аннигиляции (возможен и обратный процесс), что гравитоны, излучаемые элементарными частицами, являются физической причиной всемирного тяготения. Определены (конечно, только теоретически) и свойства гравитонов. Масса гравитона чрезвычайно мала — всего лишь 10^{-66} — 10^{-64} г, а энергия $5 \cdot 10^{-52}$ Дж. Утверждается, что размеры гравитонов не постоянны — при излучении радиус гравитона равен радиусу испускающей его элементарной частицы, но затем радиус гравитона якобы увеличивается, достигая в пределе размеров Вселенной.

Если все сказанное подтвердится экспериментально, то окажется возможным и создание гравитонных двигателей, использующих импульс гравитонного излучения. Естественно, что обсуждать конструкцию таких двигателей сейчас преждевременно.

Теория гравитации не избежала и обычного для физики дуализма «частица — волна». Наряду с частицами (гравитонами) изучаются гравитационные волны — скорость их распространения, условия генерации и поглощения, переносимая энергия, экранирование, интерференция и т. п. В этом направлении ведутся и экспериментальные работы.

В заключение остановимся на одной из оригинальных, на наш взгляд, попыток сформулировать *единую релятивистскую квантовую теорию фундаментального поля*, объясняющую структуру и свойства всех известных полей, элементарных частиц, химических элементов и кристаллов *. В теории утверждается, что космос (или, точнее, космический вакуум) — это не пустота, а пространство, сплошь заполненное элементарными частицами вакуума, т. е. проаннигилировавшими (исчезнувшими) протонами и антипротонами. Плотность элементарных частиц вакуума огромна: в 1 см^3

* М. М. Протодяконов, И. Л. Герловин. Электронное строение и физические свойства кристаллов. М., «Наука», 1975 г.

содержится 10^{39} частиц! Однако наблюдать их принципиально невозможно. Элементарные частицы вакуума образуются при аннигиляции протонов и антипротонов, которые мгновенно становятся ненаблюдаемыми, как бы исчезая в физическом вакууме и оставляя на его «поверхности» доступные для наблюдения два фотона. Фотоны или вообще электромагнитные волны рассматриваются в этой теории просто как возмущения физического сверхплотного вакуума, переносимые в нем со скоростью света.

Все наблюдаемые элементарные частицы, атомы, молекулы и тела образуют вещество, т. е. физические объекты, обладающие массой, которая, в свою очередь, является мерой наблюдаемой инерции, а также мерой наблюдаемой энергии и энергии связи.

Вакуум на много порядков плотнее вещества, но его массу, как, впрочем, и другие свойства, наблюдать невозможно. Считается, что элементарные частицы вакуума массы не имеют.

Гравитационное взаимодействие между элементарными частицами объясняется всесторонним давлением вакуума, ослабленным небольшим экранированием. Как раз это экранирование и создает эффект гравитационного притяжения.

Сейчас пока еще рано утверждать о справедливости и жизненности предложенной теории, хотя она и объединяет многие идеи, высказывавшиеся ведущими физиками нашего времени, не противоречит в основных своих результатах теориям относительности Эйнштейна, а главное, очень удачно объясняет многочисленные экспериментальные факты. Пожалуй, менее всего в этой теории разработана проблема гравитации, в частности, вопросы экранирования воздействий вакуума на элементарные частицы, самоэкранирования вакуума при прохождении через него волн возмущения, т. е. электромагнитных волн, однородности вакуума во Вселенной, уничтожения частиц вакуума с выходом частиц — античастиц в наблюдаемое пространство, взаимодействия релятивистских частиц с вакуумом и т. д. Очень важен вопрос о стационарности вакуума, граничащий с вопросом о стационарности Вселенной. Меняется ли плотность вакуума в связи с доказанным в настоящее время ее расширением?

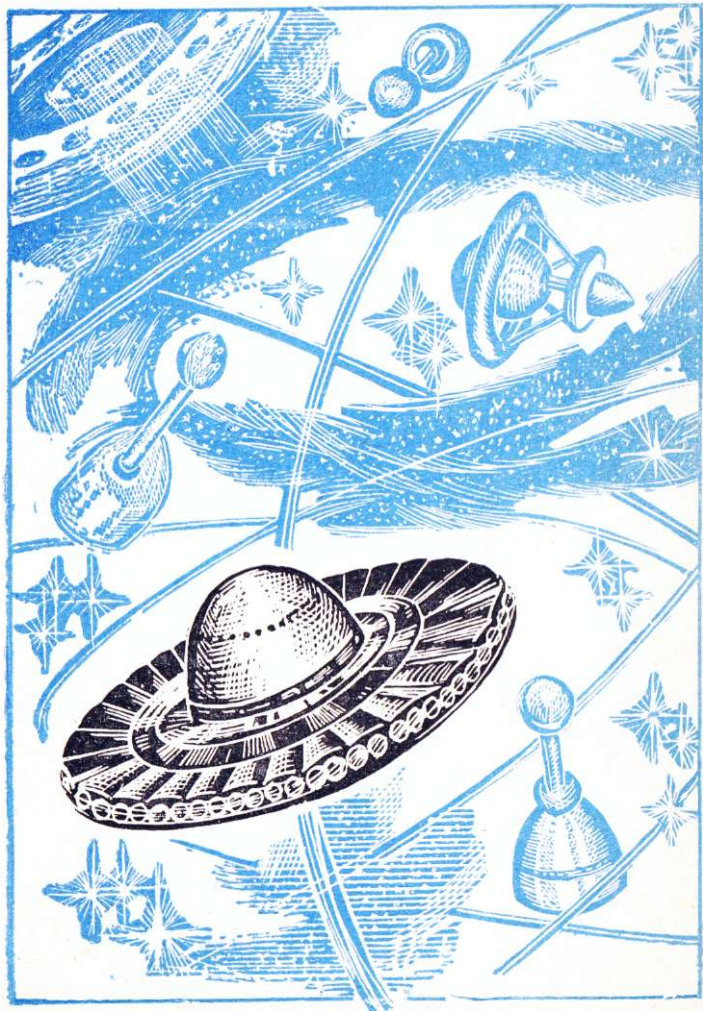
И наконец, об антигравитации. Согласно представлениям упомянутой теории, антигравитация возможна, если между двумя тя-

готеющими массами происходит более интенсивная генерация вакуума, чем его экранирование этими массами. В этом случае две соседние массы будут не притягиваться, а отталкиваться. По-видимому, и рассмотренный в предыдущем разделе фотонный прамоточный двигатель может оказаться значительно эффективней из-за того, что аннигиляция создаст большую плотность вакуума за летящим кораблем. Если повышенная сила упругости вакуума за летательным аппаратом приведет к возникновению тягового усилия, то последнее будет складываться с тяговым усилием классического фотонного двигателя.

Можно без преувеличения сказать, что наступление ученых на проблему гравитации идет в настоящее время широким фронтом, включая всесторонние теоретические и уникальные экспериментальные наблюдения. Создаются высокочувствительные установки для обнаружения гравитационных волн, проводятся эксперименты на гигантских ускорителях элементарных частиц в целях выявления гравитационных свойств античастиц, планируются уникальные эксперименты на космических аппаратах. В теоретическом плане очень важны усилия ученых, направленные на создание единых теорий поля и элементарных частиц, на раскрытие пока еще не известных свойств кварков и лептонов. Эти же работы связаны с изучением нашей Вселенной как целого, ее образования и развития. Можно отметить, что к настоящему времени накоплен обширный материал о Вселенной. Установлен факт ее расширения, обнаружено реликтовое радиоизлучение, на пределе возможностей оптических и радиотелескопов найдены необычные объекты гигантской светимости — квазары. Свет от квазаров до нас идет миллиарды лет, следовательно, мы видим свидетелей очень далекого прошлого нашей Вселенной. Обобщая данные наблюдений и расчетов, ученые делают вывод, что Вселенная не вечна, не бесконечна и не стационарна, как думали еще несколько десятков лет тому назад. В то же время подтверждаются предположения об однородности и изотропности Вселенной. Наиболее распространена следующая модель ее эволюции: примерно 13 млрд. лет тому назад было «начало», когда все пространство Вселенной занимало объем $2,5 \cdot 10^{-37}$ см³. Плотность начальной материи была огромна — $4 \cdot 10^{93}$ г/см³. Уже через 10^{-4} с после

«начала» плотность Вселенной составляла 10^{14} г/см, что равно плотности атомных ядер. Экспериментальным подтверждением этого периода могло бы стать обнаружение реликтового (остаточного) гравитационного излучения. Через 0,3 с после «начала» плотность составляла уже 10^7 г/см³, а температура $3 \cdot 10^{10}$ К. Нейтрино и антинейтрино при этих условиях веществом не поглощаются и могут существовать независимо, а следовательно, могут дойти до нас в виде реликтовых нейтрино. Образование протонов, нейтронов, электронов и других элементарных частиц, а также образование первичного водорода и гелия произошло на сотой секунде при плотности 100 г/см³ и температуре 19^9 К. Отрыв от вещества излучения, дошедшего до нас в виде реликтового фона, произошел на $3 \cdot 10^5$ с жизни Вселенной при плотности 10^{-20} г/см³ и температуре 3—4 тыс. К. Сейчас температура этого излучения 3 К, а плотность Вселенной 10^{-29} г/см³. Зная общую массу Вселенной (10^{66} — 10^{57} г), а также ее плотность в различные периоды времени, можно обнаружить, что скорость ее расширения в начальный период превышала световую. Чтобы не вступать в противоречие с общей теорией относительности, ученые предполагают, что вместе со Вселенной расширяется и само пространство. Таким образом, пространство вовлекается в физический процесс и уже не считается неизменной формой существования материи. Это дает основание предположить, что вслед за фотонными и гравитационными ракетами могут появиться летательные аппараты или устройства, изменяющие пространство и позволяющие перемещаться со сверхсветовыми скоростями и достигать границ нашей Вселенной.





ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Перечень новых возможностей для создания удивительных летательных аппаратов будущего, открываемых современной наукой, можно было бы продолжить. Не обсуждался, например, вопрос о термодинамических проблемах обратимости, связанных с возможными перспективами создания «машин времени». Не затронуты вопросы о возможном развитии цивилизации и изменении «целей звездоплавания».

В небольшой книге невозможно описать и многочисленные проекты будущих ракет. Наша задача состояла в другом — показать безграничность технических возможностей, большое количество идей и актуальность целей будущего изучения и освоения космического пространства.

Все большее число государств тяготеет к космическим исследованиям. В тех странах, которые уже имеют необходимую технику и возможности, а особенно это касается родины космонавтики — СССР и другой космической страны — США, все шире обсуждаются вопросы практического использования космонавтики, повышения ее рентабельности и эффективности. С каждым днем ширится международное сотрудничество в деле исследования и освоения космоса.

Теперь уже, пожалуй, не так просто отыскать людей, которые не понимали бы значения космонавтики для будущего развития человечества. Интерес к космонавтике перешагнул этап сенсаций и принял обычный деловой характер. Теперь даже о фотонных ракетах и межзвездных путешествиях говорят не как о каком-то сверхфантастическом парадоксе, а как об одной из более или менее обычных научно-технических задач завтрашнего дня.

Проектированием космических ракет, причем, ракет не стандартных, не обычных, а ракет, обладающих новым свойством — универсальностью, одноступенчатых или, наоборот, многоблочных многоступенчатых, с повышенной эффективностью при эксплуатации, ракет-самолетов и т. п., в настоящее время заняты не только

государственные организации в Великобритании, Индии, Франции, ФРГ, СССР, США, Японии, но и частные фирмы, и даже отдельные энтузиасты во многих странах.

Нам кажется, что для начинающих конструкторов будущих ракет (независимо от уровня их знаний и подготовки) предлагаемая популярная книга может быть неплохим пособием для расширения их кругозора.

Эта книга может сыграть определенную роль в жизни молодых людей, размышляющих о своей будущей специальности, и просто быть интересной любознательным читателям.

Нам представляется, что именно такая задача, задача популяризации новой и перспективной техники в самых широких массах читающей аудитории наиболее отвечает интересам будущего развития космонавтики. Вместе с тем авторы должны признаться, что эта книга — их первый опыт в деятельности подобного рода. Не исключены, следовательно, как мелкие, так и более серьезные упущения, узнать о которых они были бы весьма рады.



СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1. ЗАЧЕМ ИЗУЧАЮТ И КАК ОСВАИВАЮТ КОСМОС	11
2. НА ПУТИ К КОСМИЧЕСКОЙ РАКЕТЕ	25
3. БРОНТОЗАВРЫ РАКЕТНОЙ ТЕХНИКИ	37
4. АТОМ И РАКЕТА	47
5. ЗОЛОТОЙ ДИРИЖАБЛЬ	57
6. ЧТО ТАКОЕ ВНЕШНИЕ РЕСУРСЫ	65
7. АВИАЦИЯ - КОСМОНАВТИКА	75
8. ЭФФЕКТИВНОСТЬ, ТЕРМОДИНАМИКА И КОСМИЧЕСКИЙ ТУРИЗМ	81
9. ФИЗИКА НА СЛУЖБЕ КОСМОНАВТИКИ	91
10. ТЕХНИКА СОСЕДЕЙ ПО РАЗУМУ?	97
11. НАДО ЛИ ЗАРЯЖАТЬ ЛУНУ?	107
12. АДРЕС — ОИСЗ	115
13. ТЕРМОЯДЕРНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ	123
14. КОСМИЧЕСКИЙ ПРЯМОТОЧНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ	129
15. ФОТОННАЯ РАКЕТА	137
16. ВОЗМОЖНА ЛИ АНТИГРАВИТАЦИЯ?	147
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	155

ИБ № 1007

Валерий Павлович Бурдаков

Юрий Иванович Данилов

РАКЕТЫ БУДУЩЕГО

Редактор О. А. Степеннова
Художественные редакторы
А. С. Александров, А. Т. Кирьянов
Обложка художника Е. В. Шворака
Технические редакторы О. Н. Адаскина,
А. А. Белоус
Корректор М. В. Косарева

Сдано в набор 31.03.80. Подписано к печати 11.07.80. Т-11997. Формат 70x100/32. Бумага тип. № 2. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. (3,45. Уч.-изд. л. 8,22. Тираж 117000 экз. Зак. тип. 309. Зак. изд. 69338. Цена 30 к.

Атомиздат, 103031 Москва К-31, ул. Жданова, 5.

Ярославский полиграфкомбинат Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 150014 Ярославль, ул. Свободы, 97.



В. П. Бурдаков



Ю. И. Данилов

Авторы книги — старший научный сотрудник доктор технических наук В. П. Бурдаков и профессор доктор технических наук Лауреат Государственной премии СССР Ю. И. Данилов — уже известны читателю.

Специалисты по сложным энергетическим системам, опубликовавшие в 1969 и 1976 гг. монографии по космической тяговой энергетике, на этот раз выступают в качестве популяризаторов.

АТОМИЗДАТ

