



Библиотечка  
Общественного совета  
Госкорпорации «Росатом»



А.А. Акатов,  
Ю.С. Коряковский

## **В КОСМОС — НА АТОМНОЙ ТЯГЕ**

АНО «Информационный центр атомной отрасли»

Москва

2012



Библиотечка  
Общественного совета  
Госкорпорации «Росатом»

УДК 621.039.5

ББК 31.4

**А.А. Акатов, Ю.С. Коряковский**

В космос – на атомной тяге, М. : АНО «Информационный центр атомной отрасли», 2012. – 24 с.

Вы хотите посмотреть на Землю из дальнего космоса? Побывать на других планетах или даже стать одним из первых обитателей Марса? Или отправиться к звездам? Ваши мечты вполне могут стать реальностью благодаря энергии атома. Сегодня в России создается принципиально новый тип ракетного двигателя на «атомной тяге», который позволит значительно сократить сроки космических экспедиций и приступить к колонизации Луны и Марса уже в ближайшие десятилетия.

Об уникальном опыте создания ядерных ракетных двигателей и перспективах, которые они открывают перед беспокойным человечеством, и пойдет речь в этом буклете.



[www.osatom.ru](http://www.osatom.ru)

© АНО «Информационный центр атомной отрасли». 2012

© А.А. Акатов, Ю.С. Коряковский. 2012



**Сатурн**



**Туманность  
«Конская голова»**



**Две  
спиралевидные  
галактики**



**Вулкан Олимп  
на Марсе**

**С**егодня во всем мире работают десятки атомных станций, на которых тепло, выделяющееся при цепной реакции деления, преобразуется в электроэнергию. Однако сфера мирного применения атомной энергии не ограничивается энергетикой. Сейчас радиоактивные вещества повсеместно применяются в различных отраслях промышленности, и не только на Земле, но и за ее пределами: ведь космическим аппаратам тоже требуется энергия — для полета, для бесперебойного функционирования бортовых систем и различных устройств. Однако корабль, вышедший в открытый космос, не может использовать все разнообразие ресурсов, имеющих на земле, — ему доступны только те источники энергии, которые он может унести с собой, значит, эти источники должны быть максимально компактными и эффективными. А поскольку именно такими свойствами отличаются устройства, использующие атомную энергию, то можно считать, что выход «мирного атома» в космос был predetermined заранее.

## АТОМНАЯ ЭНЕРГИЯ И ИССЛЕДОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

**Ч**тобы выйти за пределы земной атмосферы, современным ракетам-носителям требуется буквально несколько минут. Но чтобы долететь до Марса, необходимо уже целый год, а экспедиция на Юпитер, Сатурн и Уран растянется на многие годы. Поэтому одной из важных задач становится повышение скорости космических кораблей, чтобы сделать пилотируемые полеты на дальние планеты реальностью. Вторая задача, не менее важная, — обеспечение космических аппаратов энергией. Решить эти задачи позволяют достижения в области атомной техники. Более того, атом в космосе уже побывал и показал себя с весьма неплохой стороны. Когда это произошло, и какие же преимущества при освоении космического пространства дают силы, заложенные в атомном ядре?

Соперничество в ядерной сфере между СССР и США, которое началось с окончания Второй мировой войны, в скором времени распространилось и на космическую сферу: уже во второй половине пятидесятых годов Советский Союз и Соединенные Штаты приступили к выполнению программ по созданию реакторов для космических кораблей. Главной целью была разработка ядерных ракетных двигателей, но перед этим предстояло вначале подобрать материалы для экстремальных условий эксплуатации; отработать механизмы управления; выяснить, как реактор поведет себя в космосе.

К тому моменту, когда в нашей стране запустили космическую ядерную программу, нам уже удалось до-

биться значительных успехов на земле: была создана атомная бомба, введена в эксплуатацию первая АЭС, испытаны первая отечественная атомная подлодка и атомный ледокол. Однако стандартная схема, применяемая на атомных электростанциях (тепло ядерной реакции превращает воду в пар → пар вращает лопасти турбины → турбина вращает ротор электрогенератора), не подходит для космоса. Хотя бы потому, что в открытом пространстве неоткуда взять охлаждающую воду.

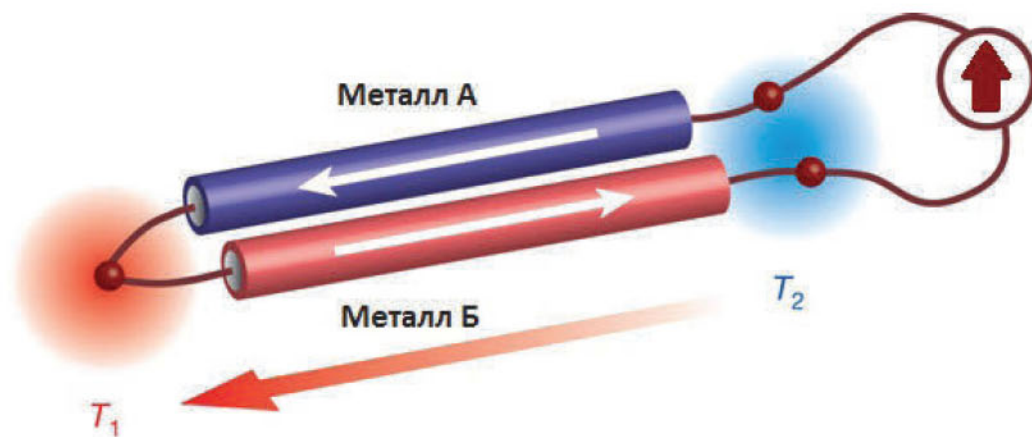
Для космоса потребовались совершенно иные подходы к получению электричества из энергии, содержащейся в атомном ядре. Один из них основан на эффекте Зеебека: так, если взять две проволоки из различных сплавов и спаять их концы, а затем один из контактов нагреть, оставив второй холодным, то в цепи возникнет электродвижущая сила (термо-эдс), и потечет электрический ток. Это явление применяется для измерения температуры различных объектов, а соответствующие датчики называются термопарами.

Эффект Зеебека можно использовать и для получения электричества. Устройство, используемое с данной целью, называют термоэлектродвигателем. А чтобы применить этот эффект и получить термо-эдс в космосе, целесообразно задействовать атомную энергию. В подобном случае одним из вариантов является использование тепла радиоактивного распада, поскольку в процессе распада ядер радиоактивные вещества нагревают себя сами, преобразуя энергию собственной радиации в тепло. Такой источник тепла обладает изумительным постоянством и не зависит от внешних условий, что идеально подходит для космических аппаратов, отправляющихся на периферию Солнечной системы, — туда, где Солнца не видно или его свет слишком слаб для эффективной работы солнечных батарей.

Так появились знаменитые РИТЭГи (радиоизотопные термоэлектрические генераторы) — стабильные и долговечные источники электроэнергии, способные работать в условиях космического холода и высоких радиационных полей планет-гигантов. Эти выдающиеся свойства РИТЭГов определили их применение в качестве источников энергии для космических исследований. Например, американские космические аппараты «Пионер-10, -11», «Вояджер-1, -2», «Галилео», «Улисс», «Кассини» и «Нью Хорайзонс», а также спускаемые зонды первого и второго «Викингов» были запитаны от радиоизотопных источников. Эти устройства выполнили важнейшие задачи по исследованию космоса, а некоторые из них функционируют до сих пор.

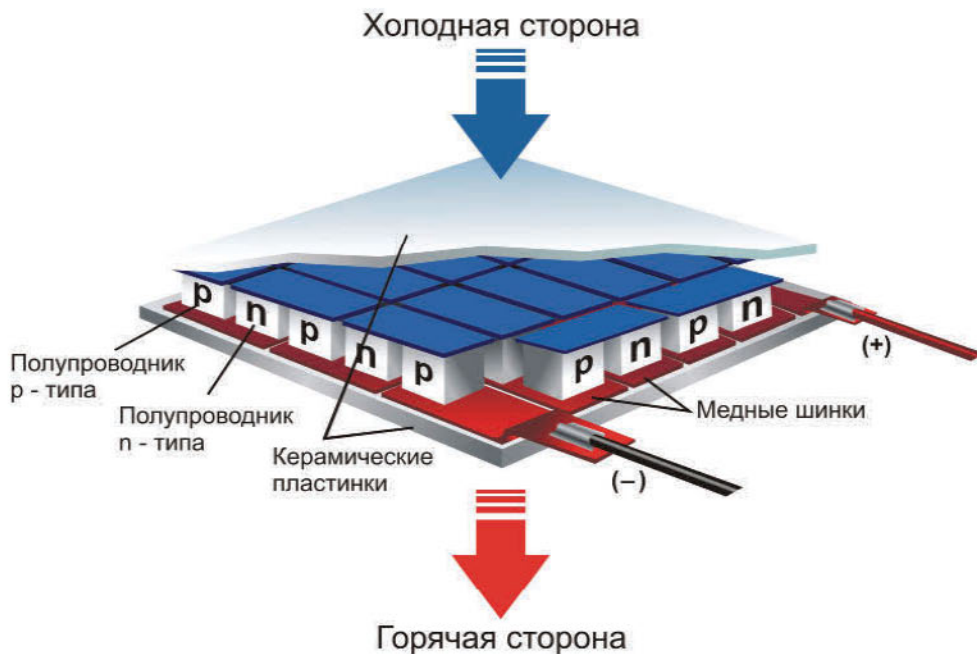


Так, на сегодняшний день «Вояджеры» (запущенные в 1977) достигли пределов Солнечной системы и продолжают надежно работать, а в ближайшее время они выйдут в межзвездное пространство, имея все шансы впервые в истории передать оттуда необходимую научную информацию. Ученые полагают, что их радиоизотопные термоэлектрические генераторы будут функционировать до 2025 года.

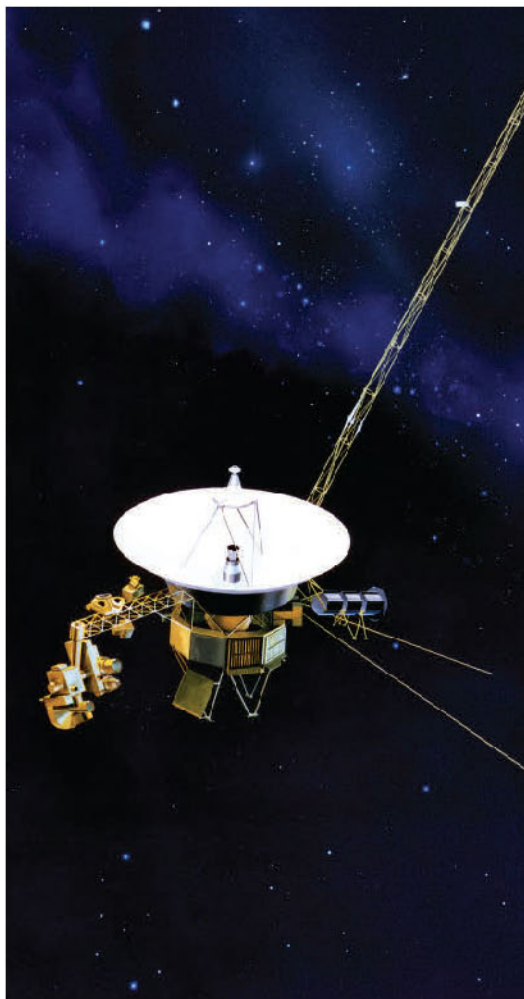


Эффект Зеебека для металлов

Получается, что радиоизотопные источники энергии незаменимы при исследовании дальнего космоса, а в будущем радиоизотопные источники тепла и электроэнергии могут быть использованы в межзвездных зондах, боевых лазерах космического применения, планетных станциях постоянного базирования.



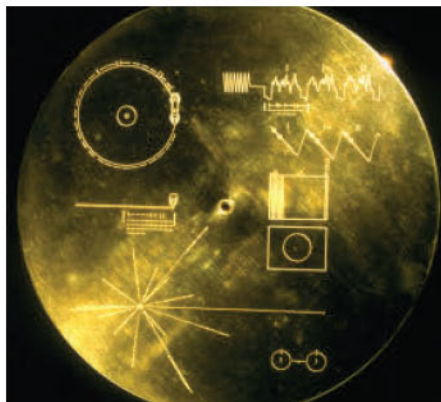
Термоэлектрогенератор на основе эффекта Зеебека для полупроводников



**«Вояджер».** На рисунке РИТЭГ расположен внизу, между антенн

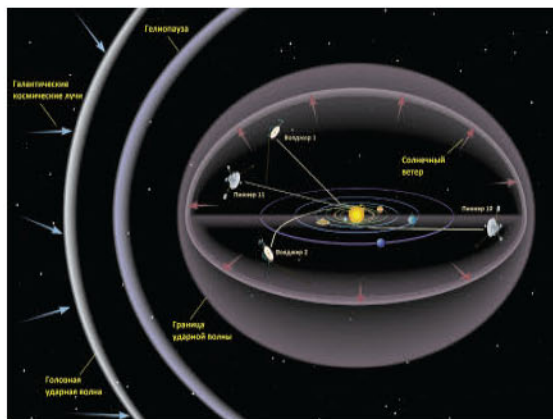


**«Луноход-1».** Изотопный источник тепловой энергии расположен сзади, в районе девятого колеса



**Золотая пластинка,** закрепленная на корпусе «Вояджера». На ней записаны важнейшие сведения о земной цивилизации

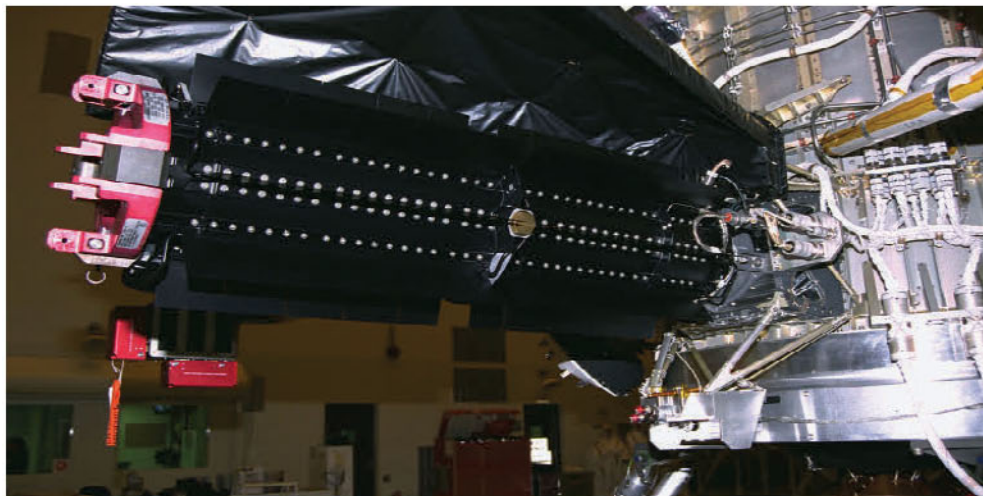




Путь к границам Солнечной системы



Космический аппарат «Нью Хорайзонс».  
Хорошо виден РИТЭГ



РИТЭГ аппарата «Кассини»

## ПОЧЕМУ БЕЗ РЕАКТОРА НЕ ОБОЙТИСЬ?

**К**ак бы ни были хороши радиоизотопные термоэлектрогенераторы, они имеют свои ограничения: в частности, их мощность сравнительно невелика. Поэтому, если нужно получить больше энергии, требуется куда более основательный ее источник – ядерный реактор.

Как может быть устроен реактор для космоса? В качестве топлива можно использовать уран, обогащенный по делящемуся изотопу урану-235, а выделяющееся в ходе ядерной реакции тепло отводить теплоносителем на основе жидкого металла (например, смеси натрия и калия). Этот теплоноситель передает тепло термоэлектрогенератору для создания разницы температур контактов и оборудованию космического аппарата для поддержания его при рабочей температуре.

Первая ядерная энергетическая установка такого типа – американская SNAP-10A – была запущена 3 апреля 1965 года и проработала в космосе 43 дня. Более успешной оказалась серия из трех десятков советских ядерных энергетических установок «Бук»: первая была запущена на орбиту в составе спутника радиолокационной разведки УС-А 3 октября 1970 года. Это были военные аппараты, которые входили в состав системы космической разведки, и выполняли задачи наблюдения за надводными целями на поверхности мирового океана и передачи координат на носители оружия (атомные подводные лодки) или командные пункты.

В следующем поколении ядерных энергетических установок – «Топаз-1» («Тополь») отечественным конструкторам удалось добиться еще более значительных



**SNAP-10A –  
первый ядерный реактор,  
побывавший на орбите**

успехов: если ресурс «Бука» составлял 1-3 месяца, то один из двух запущенных «Топазов-1» проработал на орбите целый год. В «Топазах» для получения электроэнергии был использован несколько иной способ, чем на предшественниках, – термоэмиссионное преобразование, основанное на эффекте Ричардсона (или термоэлектронной эмиссии): нагретые тела испускают электроны, и при повышении температуры до определенного уровня некоторые электроны приобретают скорость, достаточную для того, чтобы оторваться от поверхности материала. А совокупность движущихся в одном направлении электронов – это и есть электрический ток.

Термоэмиссионный генератор, питавший электричеством «Топаз», устроен так: два электрода разделены промежутком из вакуума, а снаружи соединены электрической цепью. Один из электродов нагревается теплом, выделяющимся при работе ядерного реактора, при этом из него вылетают электроны, которые устремляются к более холодному электроду: цепь замыкается, по ней течет ток.



**«Топаз-2» («Енисей»)**

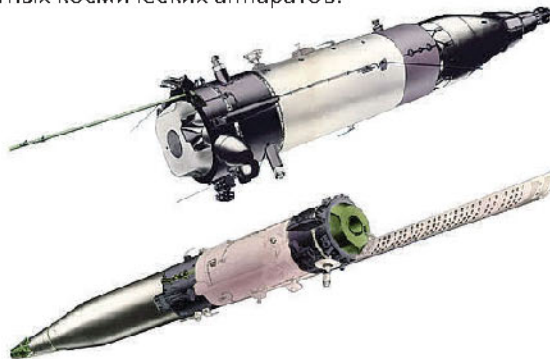


**Макет ядерной энергетической  
установки «Топаз»**

«Топаз-2» («Енисей»), разработанный вслед за «Топазом-1», был исключительно мирным аппаратом, предназначенным для телевизионных спутников-ретрансляторов, но в космос он, к сожалению, так и не полетел; разработки более мощного «Топаза-3» также застопорились. Почему «ядерно-космическая» программа нашей страны оказалась свернута? Главная причина заключалась в проблемах с финансированием, имевшим место в 90-х годах, к которым прибавилось настороженное отношение к ядерным технологиям после Чернобыльской аварии и ряда аварий космических аппаратов с ядерными энергоустановками.

Тем не менее, нельзя сказать, что за годы простоя наша страна безнадежно отстала в этой сфере. За тридцать лет активной работы был создан внушительный научный и технический задел для дальнейшего развития, который позволит в новом тысячелетии реализовать масштабные проекты – причем в кратчайшие сроки. И если говорить о ближайшем будущем, то усилия, скорее всего, будут сфокусированы на создании ядерных ракетных двигателей и энергетических установок для межпланетных космических аппаратов.

Космические  
аппараты  
с установками  
«Топаз»  
и «Бук»





## РАКЕТЫ С ЯДЕРНЫМ ПРИВОДОМ

**И**так, ядерные реакторы уже побывали в космосе в роли источников тепла и электричества. Но инженерам хотелось попробовать применить реактор для придания ракете движущего импульса. Помимо СССР разработкой ядерных ракетных двигателей занимались и Соединенные Штаты: в результате в США были созданы установки типа NERVA, которые даже прошли испытания на полигоне в штате Невада. Правда, речь идет только об испытаниях реактора, а не двигателя в целом; к тому же, в 1972 году программу сочли неоправданно дорогой и закрыли. Советский Союз продвинулся значительно дальше: у нас был реально построен и испытан ядерный ракетный двигатель РД-0410 — это был маленький, но, тем не менее, завершённый аппарат; для его полноразмерных испытаний под Семипалатинском создали уникальный стендовый комплекс «Байкал-1». К сожалению, в космос РД-0410 так и не полетел из-за смены государственных приоритетов. Хотя, уместнее будет сказать: «Пока не полетел». Сейчас космическая ядерная программа в нашей стране возобновилась: в России начались разработки космического двигателя высокой мощности для полетов к Луне и Марсу. Цель программы — произвести первый пуск космического корабля с ядерной энергодвигательной установкой. Большой интерес к проекту проявляют США и Китай, и нельзя исключить ускорения работ по созданию ядерных двигателей в этих странах. Будет ли это международная кооперация или же соревнование — покажет время, но первую часть проекта российского ядерного ракетного двигателя планируется завершить в самое ближайшее время.



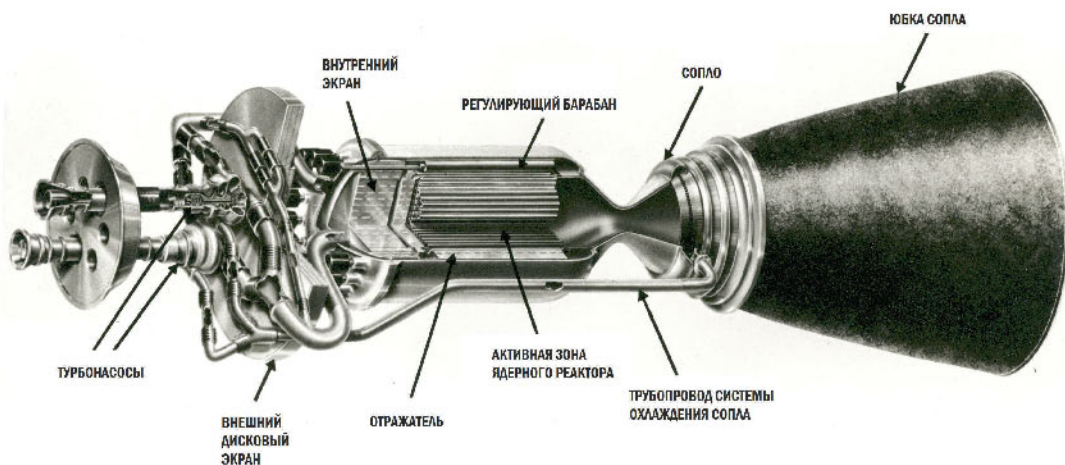
**Ядерный ракетный  
двигатель РД-0410 (СССР)**



Причина, по которой снова активизируются работы в области ядерных ракетных двигателей, довольно проста: двигательные системы на основе химического топлива достигли потолка своих возможностей, их дальнейшее совершенствование позволит лишь незначительно увеличить характеристики. В то же время ядерные двигатели дадут возможность повысить тягу в разы.

Как это достигается? В современных двигателях реактивную тягу формируют вырывающиеся из сопла газы – продукты сгорания топлива. Чем выше скорость, с которой газ вырывается из сопла, тем выше скорость ракеты. Сегодня самый эффективный двигатель на химическом топливе – водородно-кислородный – выбрасывает пары воды.

Опуская теоретические выкладки, отметим лишь, что чем меньше масса молекул, выбрасываемых из сопла, тем больше тяга, а значит, и скорость. Масса молекулы воды – 18. А масса молекулы водорода в девять раз меньше. Поэтому наиболее



Устройство ядерного ракетного двигателя на примере проекта NERVA (США)



**Установка NERVA (США) в сборке с баками  
для жидкого водорода**

выгодно создать поток, состоящий из горячего водорода. Подобное можно осуществить только в ядерном двигателе, в реакторе которого водород нагревается до высоких температур и выбрасывается из сопла, создавая тягу.

Одна из проблем в том, что водород нужно разогреть до очень высокой температуры – порядка 3000 °С. Урановые стержни при такой температуре растрескиваются и мельчайшие частицы урана уносятся с потоком водорода. В связи с этим двигатель не может работать долго, кроме того, выхлоп обладает значительной радиоактивностью. Поэтому на Земле подобный двигатель запускать нельзя, однако его можно вывести на орбиту обычной ракетой, и запустить в космосе, где выбрасываемые радиоактивные вещества не нанесут вреда атмосфере. К тому же, будет решена проблема с разрушением урановых стержней, ведь двигатель придется включать всего дважды и ненадолго – при разгоне и при торможении у пункта назначения.

## АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ПРОЕКТЫ: ФАНТАСТИКА, И НЕ СОВСЕМ

**Н**аряду с реальными существуют гораздо более фантастические идеи – например, газофазный и импульсный ядерные ракетные двигатели, разработкой которых в разное время занимались и мы, и американцы. В газофазном двигателе уран находится в газообразном состоянии при температуре 9000 °С, и заключен в магнитном поле. Это позволяет избежать контакта урана с водородом, благодаря чему водород разогревается до очень высоких температур, что позволяет еще больше увеличить скорость.

Еще один проект – ракета с импульсным двигателем, которую ещё называют «ядерный взрыволет». В нижней части корабля расположен толкатель – мощный металлический диск с теплозащитным покрытием. Под толкателем периодически взрываются ядерные заряды, которые и придают кораблю импульс. Если реализовать эту технологию, можно будет достичь еще более высоких скоростей, чем в случае с газофазным двигателем.

Возможность управляемого полета с импульсными двигателями была продемонстрирована, причем с помощью обычной взрывчатки. Однако возникли проблемы с материалами: в частности, из чего изготовить толкатель, чтобы он не испарился? Да и производить ядерные взрывы в атмосфере нельзя. Поэтому сегодня импульсные двигатели пока не рассматриваются даже в качестве возможного направления – их время еще не пришло, и этой идее придется дожидаться следующего этапа, когда развитие техники достигнет качественно нового уровня, соответствующего сложности подобного проекта.

**Термоядерный  
взрыволет «Дедал» –  
вполне реальный  
способ долететь  
до ближайших звезд**

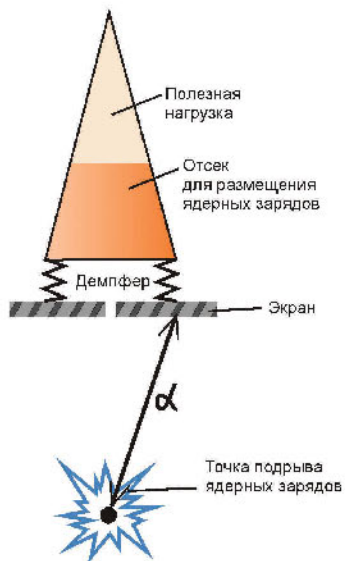


Если же говорить об экологичных двигателях с ядерным реактором, то варианты подобных аппаратов тоже существуют – одним из них будет модуль, в котором теплоносителем является благородный газ (например, ксенон). Газ циркулирует через активную зону реактора по замкнутому контуру и нагревает водород через стенку – таким образом, радиоактивное загрязнение отсутствует. В другом варианте задействованы ионные двигатели, в которых тяга создается за счет выброса из сопла ио-

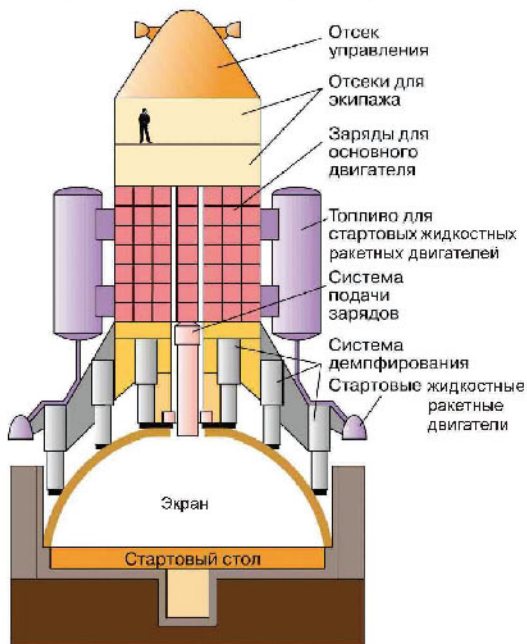
низированного газа, ускоренного электромагнитным полем. Маломощные ионные двигатели с электропитанием от солнечных батарей уже нашли свое применение в космической технике (аппарат «Дип Спейс 1», лунный зонд «Смарт 1» и другие), то есть данная технология вполне реальна. Ее недостаток – невозможность старта с поверхности планеты, зато при длительной работе такие двигатели позволяют достичь высоких скоростей, не «раздувая» габариты аппарата.



Принципиальная схема взрыволета

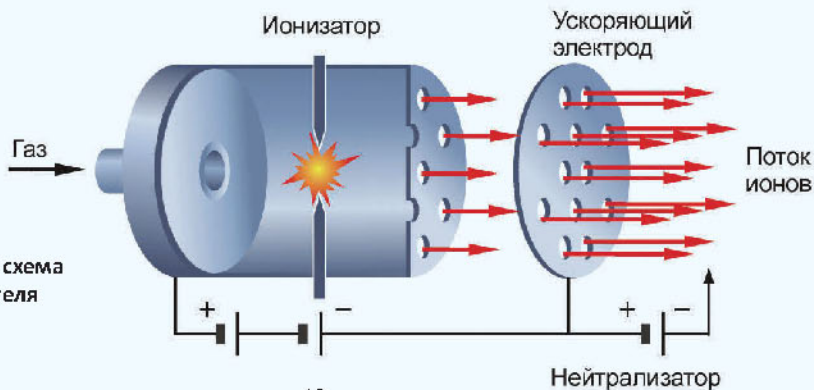


Конструктивная схема одного из вариантов взрыволета

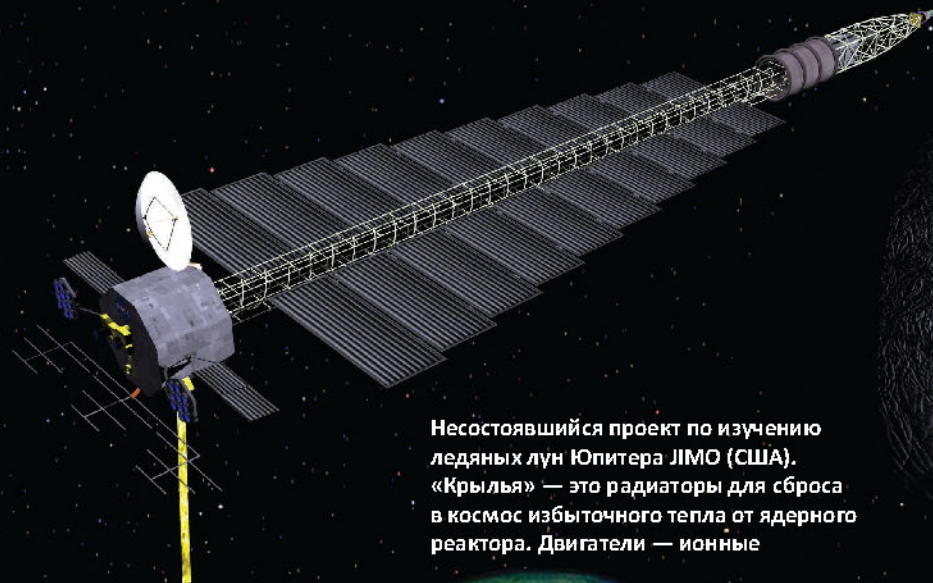


Принципиальная схема ядерного взрыволета Сахарова

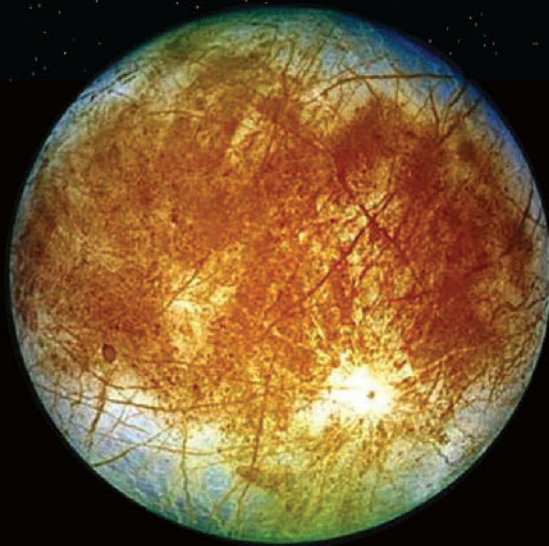
Принципиальная схема ионного двигателя





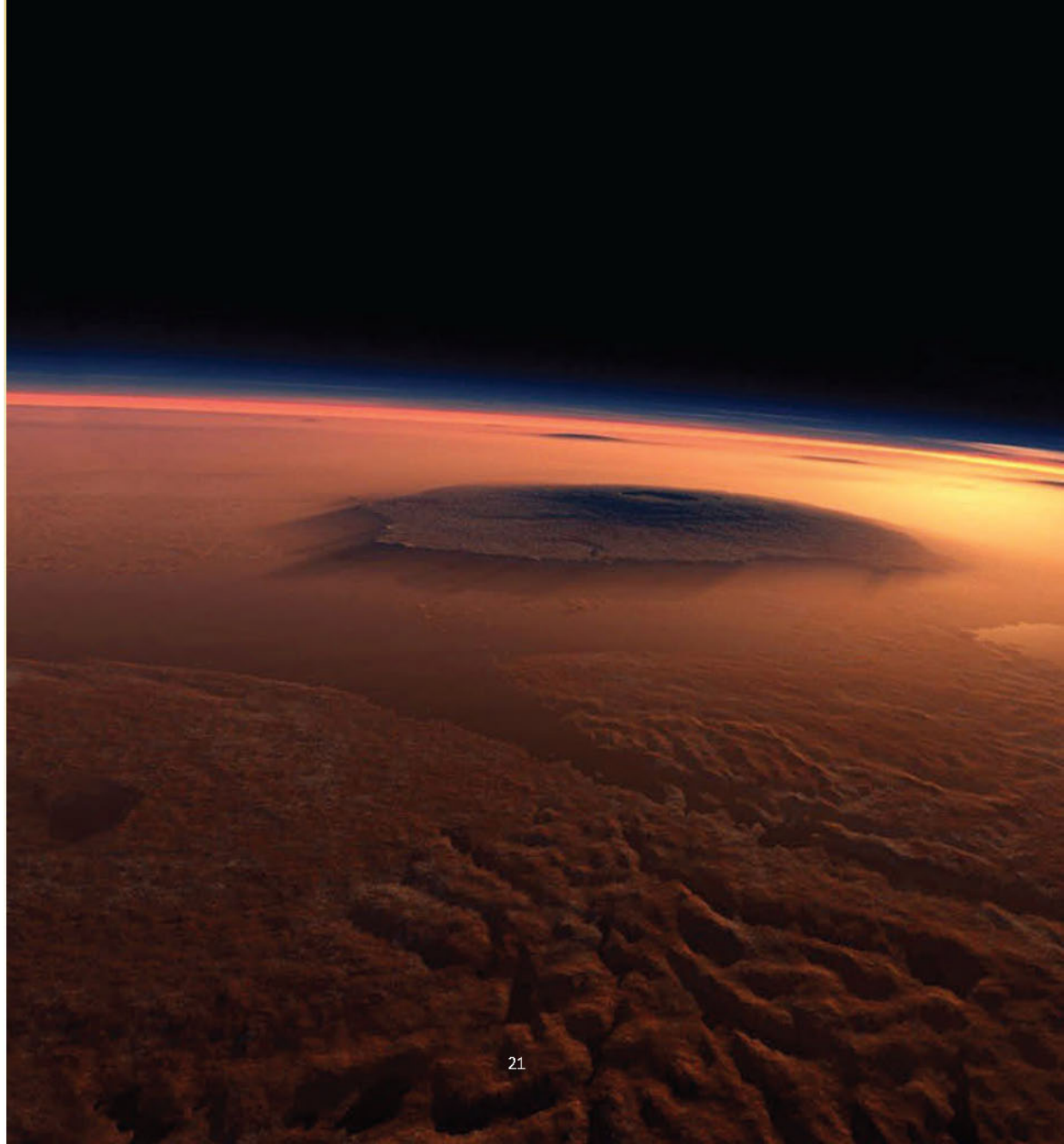


Несостоявшийся проект по изучению ледяных лун Юпитера JIMO (США). «Крылья» — это радиаторы для сброса в космос избыточного тепла от ядерного реактора. Двигатели — ионные

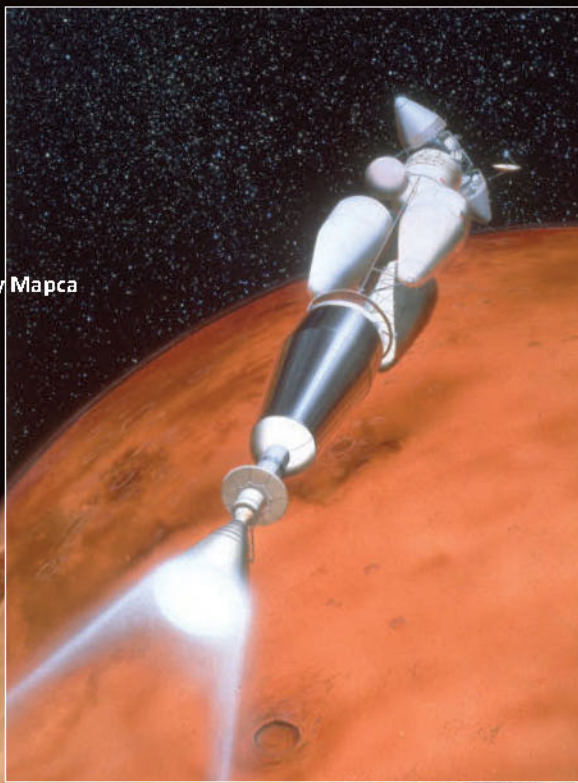


Европа — одна из ледяных лун Юпитера

Если вернуться к современным реалиям, то на сегодняшний день Россия ближе всех подобралась к полномасштабному использованию энергии атома в космосе. На государственном уровне запущен проект «Создание транспортно-энергетического модуля на основе ядерной энергодвигательной установки мегаваттного класса». Если все пойдет успешно, Росатом и Роскосмос начнут ее наземные испытания с 2015 года, а к 2018 году она должна быть подготовлена к первым летно-конструкторским испытаниям. Чтобы этого добиться, ученым и инженерам предстоит проделать немалую работу сверх того, что уже сделано, — но это непременное условие для сохранения столь значимого лидерства в ядерно-космической сфере. Тогда, возможно, спустя определенное время и космические базы на Луне и Марсе, и исследование других, более отдаленных планет, и атомные «грузовики», перевозящие колоссальные объемы грузов в открытом пространстве, станут частью повседневной жизни.



Пилотируемый корабль  
с ядерным ракетным двигателем у Марса  
(модель)







Марс (на фото видна Долина Маринера – марсианский «Большой каньон»)



## Интернет - ссылки

Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом»	<a href="http://www.rosatom.ru">www.rosatom.ru</a>
Федеральное космическое агентство (Роскосмос)	<a href="http://www.federalspace.ru">www.federalspace.ru</a>
ОАО «Ордена Ленина Научно-исследовательский и конструкторский институт энерготехники имени Н.А. Доллежаля» — головной исполнитель работ по созданию реактора для ядерной энергодвигательной установки мегаваттного класса	<a href="http://www.nikiet.ru">www.nikiet.ru</a>
Государственный научный центр Российской Федерации — ФГУП «Исследовательский центр имени М.В. Келдыша» — головной исполнитель работ по созданию ядерной энергодвигательной установки мегаваттного класса и координации работ в целом	<a href="http://www.kerc.msk.ru">www.kerc.msk.ru</a>
ОАО «Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С.П. Королёва» — генеральный конструктор космического корабля с ядерной энергодвигательной установкой мегаваттного класса	<a href="http://www.energia.ru">www.energia.ru</a>
ОАО «Конструкторское бюро химавтоматики» — изготовитель первого и пока единственного образца ядерного ракетного двигателя РД 0410	<a href="http://www.kbkha.ru">www.kbkha.ru</a>
ФГУП «Научно-исследовательский институт научно-производственное объединение» ЛУЧ» — стендовая база для испытаний ядерных ракетных двигателей, разработка тепловыделяющих сборок для ядерного ракетного двигателя	<a href="http://www.luch.podolsk.ru">www.luch.podolsk.ru</a>
ОАО «Красная Звезда» — разработчик ядерных энергетических установок «Бук», «Топаз-1, 2, 3»	<a href="http://www.redstaratom.ru">www.redstaratom.ru</a>
Государственный научный центр Российской Федерации — «Физико-энергетический институт имени А. И. Лейпунского» - участник работ по созданию ядерных энергетических установок «Бук», «Топаз-1, 2, 3»	<a href="http://www.ippe.ru">www.ippe.ru</a>
Принципы ООН, касающиеся использования ядерных источников энергии в космическом пространстве	
<a href="http://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/outerspace_nucpower.shtml">http://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/outerspace_nucpower.shtml</a>	