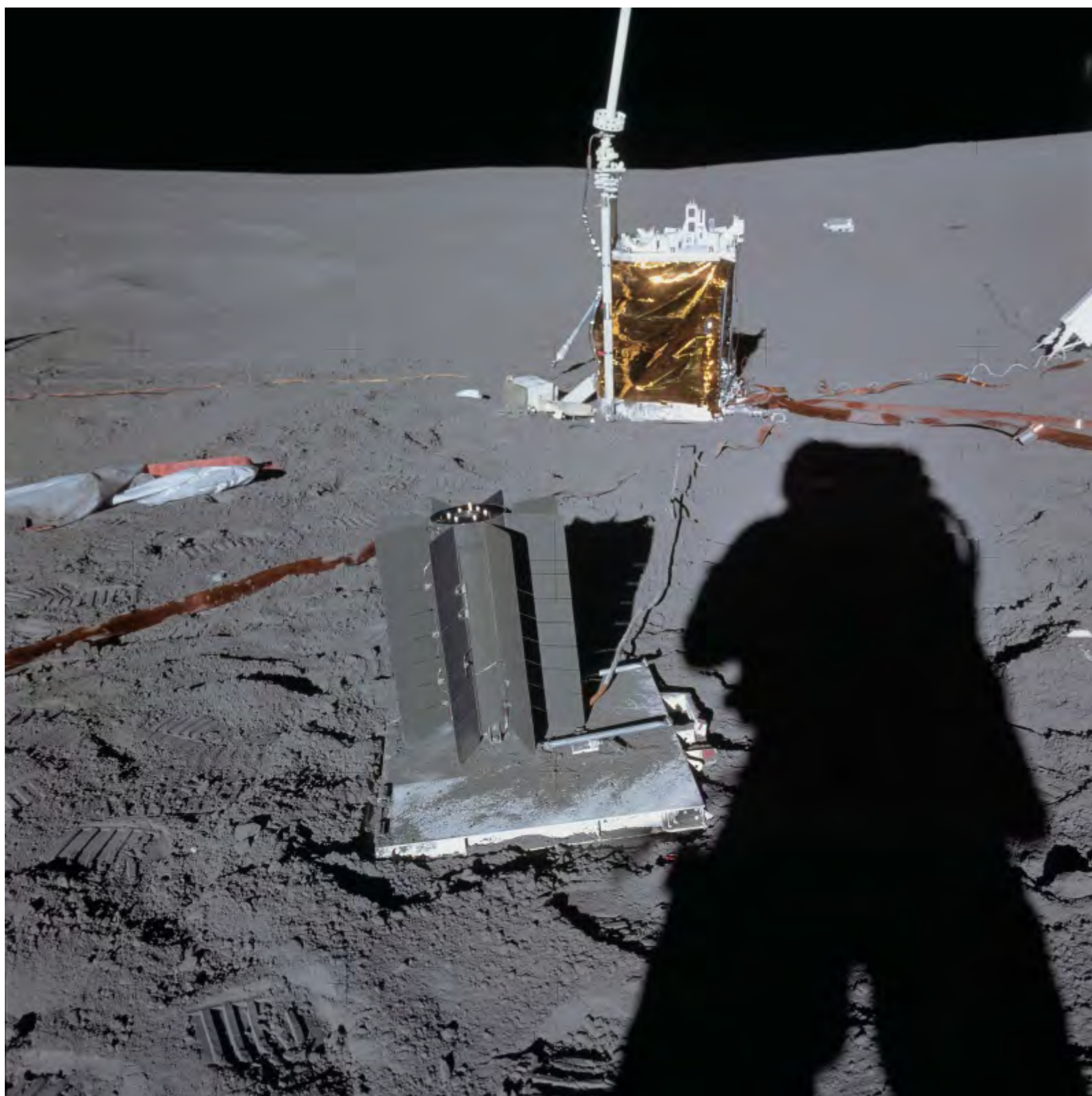




lozga 27 июля 2014 в 19:03

РИТЭГ: прозаичные тепло и электричество для космических аппаратов

Космонавтика, Физика

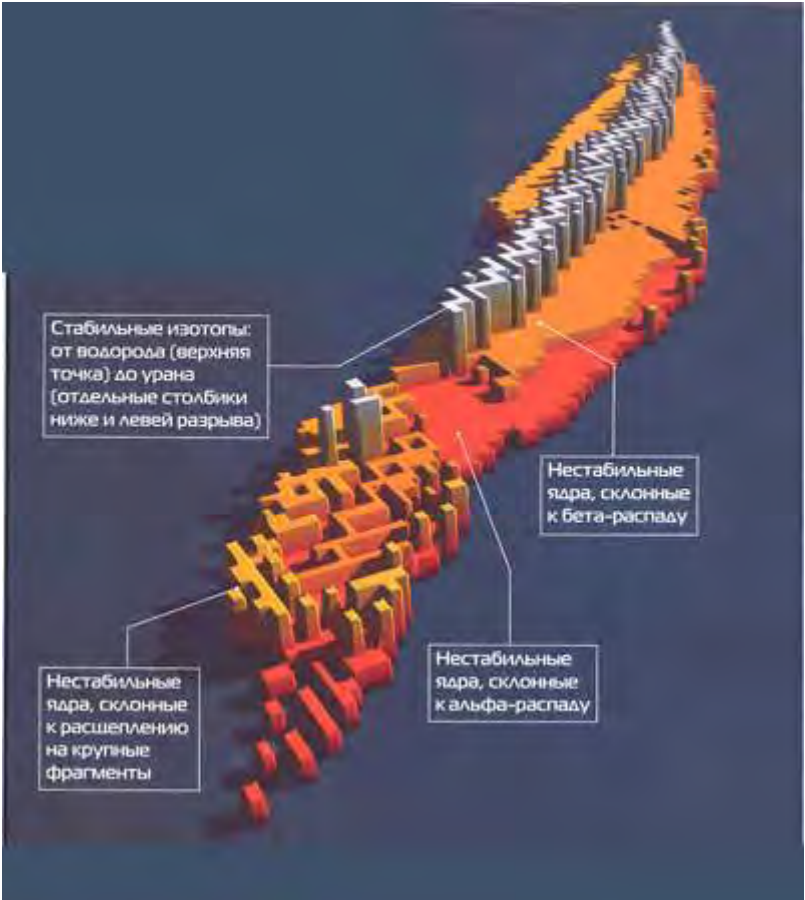


Так получилось, что в серии [«Мирный космический атом»](#) мы движемся от фантастического к распространенному. В прошлый раз мы поговорили об энергетических реакторах, очевидный следующий шаг — рассказать о радиоизотопных термоэлектрических генераторах. Недавно на Хабре был отличный пост про [РИТЭГ зонда «Кассини»](#), а мы рассмотрим эту тему с более широкой точки зрения.

Физика процесса

Производство тепла

В отличие от ядерного реактора, который использует явление цепной ядерной реакции, радиоизотопные генераторы используют естественный распад радиоактивных изотопов. Вспомним, что атомы состоят из протонов, электронов и нейтронов. В зависимости от количества нейтронов в ядре конкретного атома, он может быть стабильным, или же проявлять тенденцию к самопроизвольному распаду. Например, атом кобальта ^{59}Co с 27 протонами и 32 нейтронами в ядре стабилен. Такой кобальт использовался человечеством со времен Древнего Египта. Но если мы добавим к ^{59}Co один нейтрон (например, поместив «обычный» кобальт в атомный реактор), то получится ^{60}Co , радиоактивный изотоп с периодом полураспада 5,2 года. Термин «период полураспада» означает, что через 5,2 года один атом распадется с вероятностью 50%, а от ста атомов останется примерно половина. У всех «обычных» элементов есть свои изотопы с разным периодом полураспада:



3D карт а изот опов, спасибо ЖЖ пользует елю [crustgroup](#) за карт инку.

Подбирая подходящий изотоп, можно получить РИТЭГ с требуемым сроком службы и другими параметрами:

Изотоп	Способ получения	Удельная мощность, Вт/г	Объёмная мощность, Вт/см³	Период полураспада	Интегрированная энергия распада изотопа, кВт·ч/г	Рабочая форма изотопа
⁶⁰ Co (кобальт-60)	Облучение в реакторе	2,9	~26	5,271 года	193,2	Металл, сплав
²³⁸ Pu (плутоний-238)	атомный реактор	0,568	6,9	86 лет	608,7	Карбид плутония
⁹⁰ Sr (стронций-90)	осколки деления	0,93	0,7	28 лет	162,721	SrO, SrTiO ₃
¹⁴⁴ Ce (церий-144)	осколки деления	2,6	12,5	285 дней	57,439	CeO ₂
²⁴² Cm (кюрий-242)	атомный реактор	121	1169	162 дня	677,8	Cm ₂ O ₃
¹⁴⁷ Pm (прометий-147)	осколки деления	0,37	1,1	2,64 года	12,34	Pm ₂ O ₃
¹³⁷ Cs (цезий-137)	осколки деления	0,27	1,27	33 года	230,24	CsCl
²¹⁰ Po (полоний-210)	облучение висмута	142	1320	138 дней	677,59	сплавы со свинцом, иттрием, золотом
²⁴⁴ Cm (кюрий-244)	атомный реактор	2,8	33,25	18,1 года	640,6	Cm ₂ O ₃
²³² U (уран-232)	облучение тория	8,097	~88,67	68,9 лет	4887,103	диоксид, карбид, нитрид урана

08.02.2019

РИТЭГ: прозаичные тепло и электричество для космических аппаратов / Хабр

¹⁰⁶ Ru (рутений-106)	осколки деления	29,8	369,818	~371,63 сут	9,854	металл, сплав
------------------------------------	-----------------	------	---------	----------------	-------	---------------

То, что распад изотопов происходит самостоятельно, означает, что РИТЭГом нельзя управлять. После загрузки топлива он будет нагреваться и производить электричество годами, постепенно деградируя. Уменьшение количества делящегося изотопа означает, что будет меньше ядерных распадов, меньше тепла и электричества. Плюс, падение электрической мощности усугубит деградация электрического генератора.

Существует упрощённая версия РИТЭГа, в котором распад изотопа используется только для обогрева, без получения электричества. Такой модуль называется блоком обогрева или RHG (Radioisotope Heat Generator).

Преобразование тепла в электричество

- Как и в случае атомного реактора, на выходе у нас получается тепло, которое надо каким-либо образом преобразовать в электричество. Для этого можно использовать:
- **Термоэлектрический преобразователь.** Соединив два проводника из разных материалов (например, хромеля и алюмеля) и нагрев один из них, можно получить источник электричества.
 - **Термоэмиссионный преобразователь.** В этом случае используется электронная лампа. Её катод нагревается, и электроны получают достаточно энергии чтобы «допрыгнуть» до анода, создавая электрический ток.
 - **Термофотоэлектрический преобразователь.** В этом случае к источнику тепла подсоединяется фотоэлемент, работающий в инфракрасном диапазоне. Источник тепла испускает фотоны, которые улавливаются фотоэлементом и преобразуются в электричество.
 - **Термоэлектрический конвертер на щелочных металлах.** Здесь для превращения тепла в электричество используется электролит из расплавленных солей натрия и серы.
 - **Двигатель Стирлинга** — тепловая машина для преобразования разности температуры в механическую работу. Электричество получается из механической работы с использованием какого-либо генератора.

История

Первый экспериментальный радиоизотопный источник энергии был представлен в 1913 году. Но только со второй половины XX века, с распространением ядерных реакторов, на которых можно было получать изотопы в промышленных масштабах, РИТЭГи стали активно использоваться.

США

В США РИТЭГами занималась уже знакомая вам по прошлому посту организация SNAP.

SNAP-1.

Это был экспериментальный РИТЭГ на ¹⁴⁴Ce и с генератором на [цикле Ренкина](#) (паровая машина) со ртутью в качестве теплоносителя. Генератор успешно проработал 2500 часов на Земле, но в космос не полетел.

SNAP-3.

Первый РИТЭГ, летавший в космос на навигационных спутниках Transit 4A и 4B. Энергетическая мощность 2 Вт, вес 2 кг, использовал плутоний-238.



SNAP 3A (RIPS) GENERATOR INSTALLATION FOR
TRANSIT 4A SATELLITE IN 1961

Sentry

РИТЭГ для метеорологического спутника. Энергетическая мощность 4,5 Вт, изотоп — стронций-90.

SNAP-7.

Семейство наземных РИТЭГов для маяков, световых буйев, погодных станций, акустических буйев и тому подобного. Очень большие модели, вес от 850 до 2720 кг. Энергетическая мощность — десятки ватт. Например, SNAP-7D — 30 Вт при массе 2 т.

SNAP-9

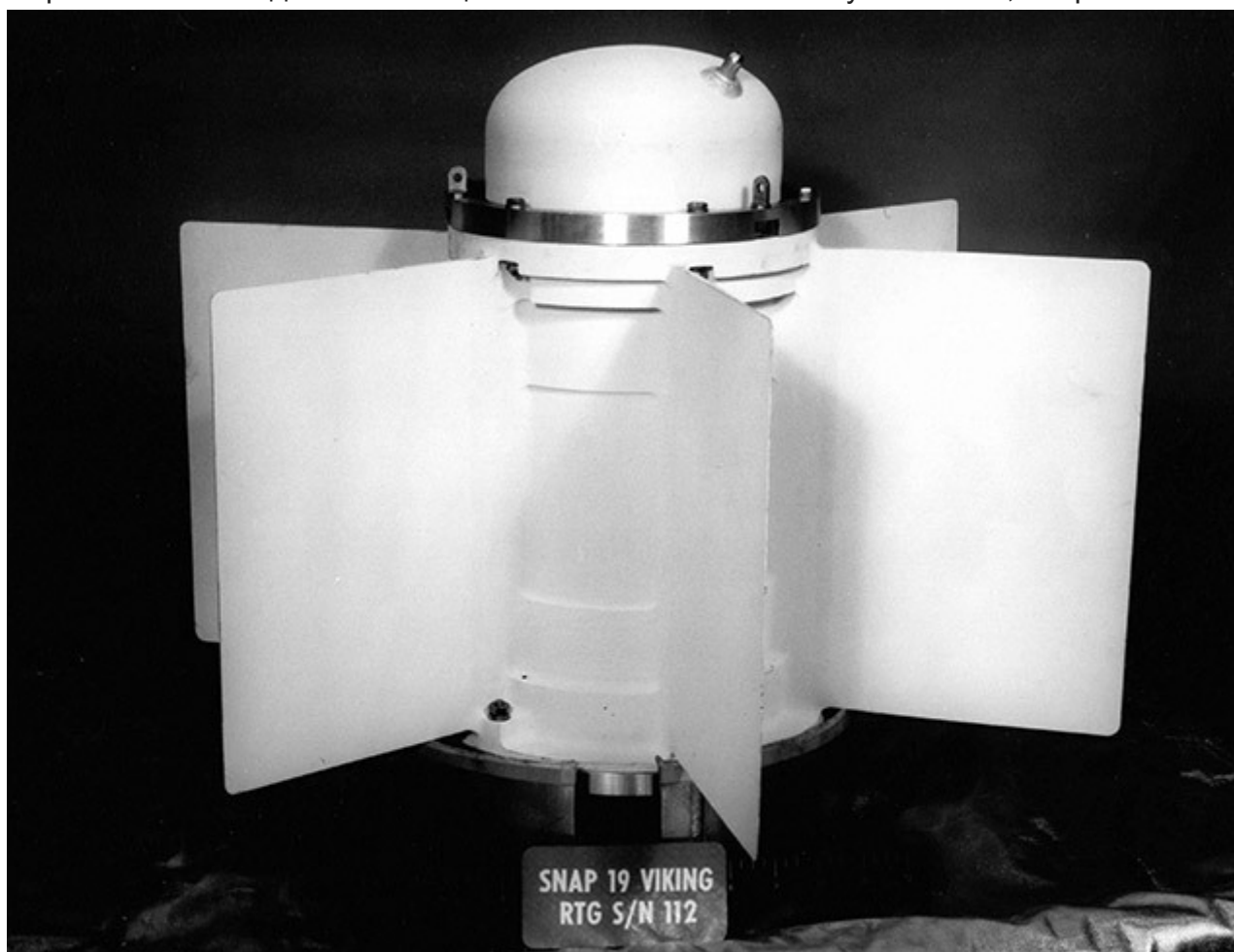
Серийный РИТЭГ для навигационных спутников Transit. Масса 12 кг, электрическая мощность 25 Вт.

SNAP-11

Экспериментальный РИТЭГ для лунных посадочных станций Surveyor. Предлагалось использовать изотоп кюрий-242. Электрическая мощность — 25 Вт. Не использовались.

SNAP-19

Серийный РИТЭГ, использовался во множестве миссий — метеорологические спутники Nimbus, зонды «Пионер» -10 и -11, марсианские посадочные станции «Викинг». Изотоп — плутоний-238, энергетическая мощность ~40 Вт.

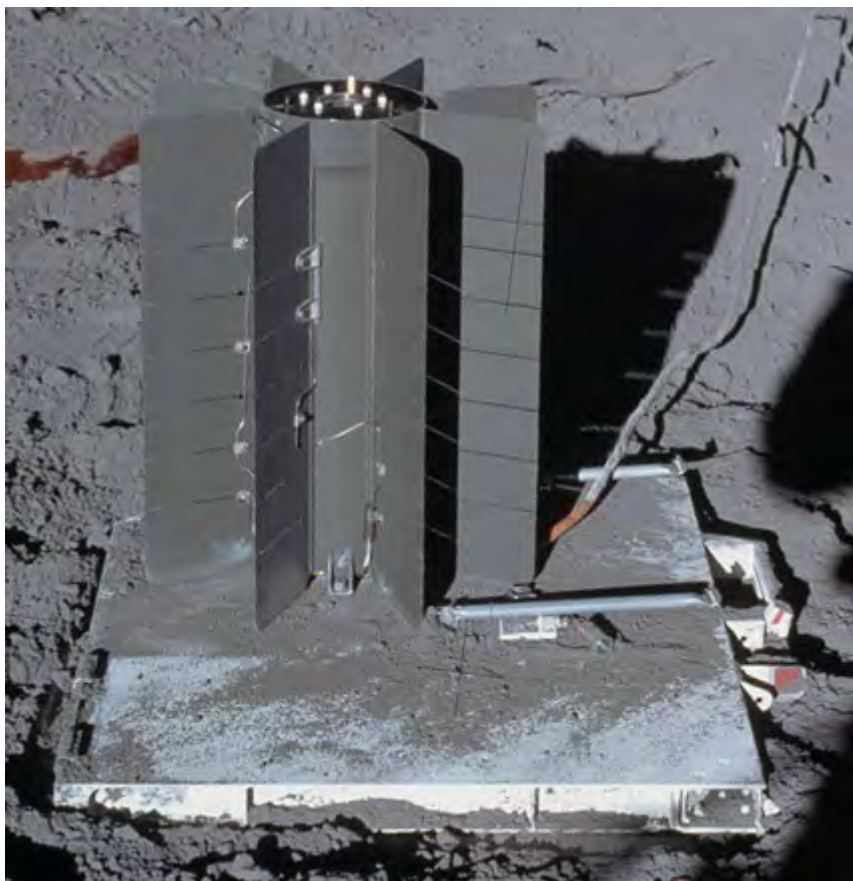


SNAP-21 и -23

РИТЭГи для подводного применения на стронции-90.

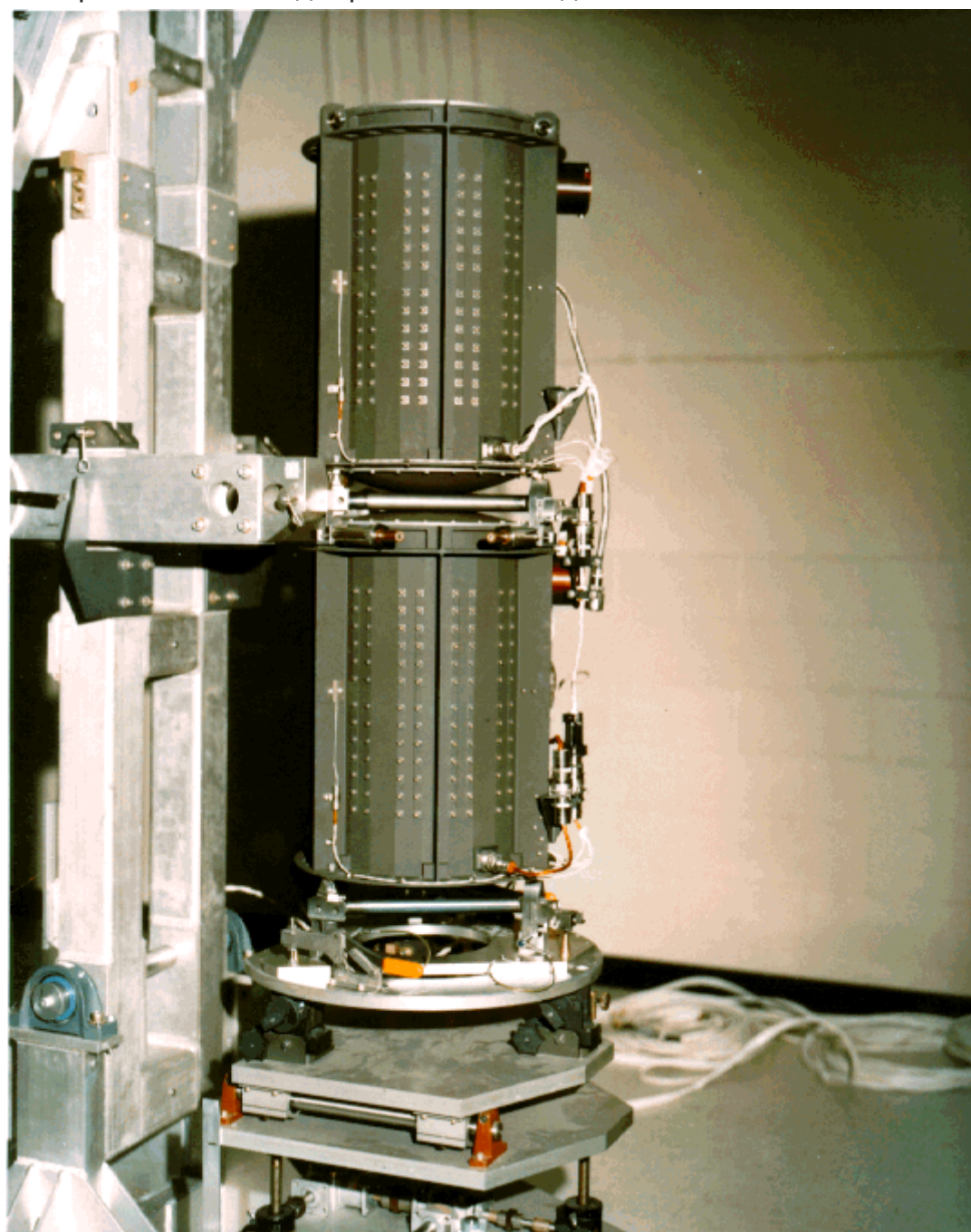
SNAP-27

РИТЭГи для питания научного оборудования программы «Аполлон». 3,8 кг. плутония-238 давали энергетическую мощность 70 Вт. Лунное научное оборудование было выключено ещё в 1977 году (люди и аппаратура на Земле требовали денег, а их не хватало). РИТЭГи на 1977 год выдавали от 36 до 60 Вт электрической мощности.



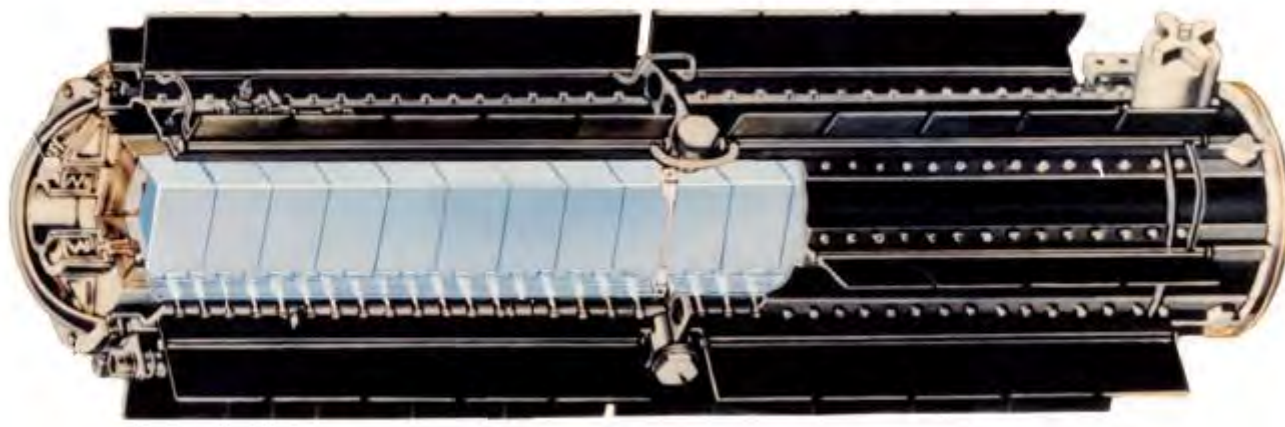
MHW-RTG

Название расшифровывается как «многоваттный РИТЭГ». 4,5 кг. плутония-238 давали 2400 Вт тепловой мощности и 160 Вт электрической. Эти РИТЭГи стояли на Экспериментальных Спутниках Линкольна (LES-8,9) и уже 37 лет обеспечивают теплом и электричеством «Вояджеры». На 2014 год РИТЭГи обеспечивают около 53% своей начальной мощности.



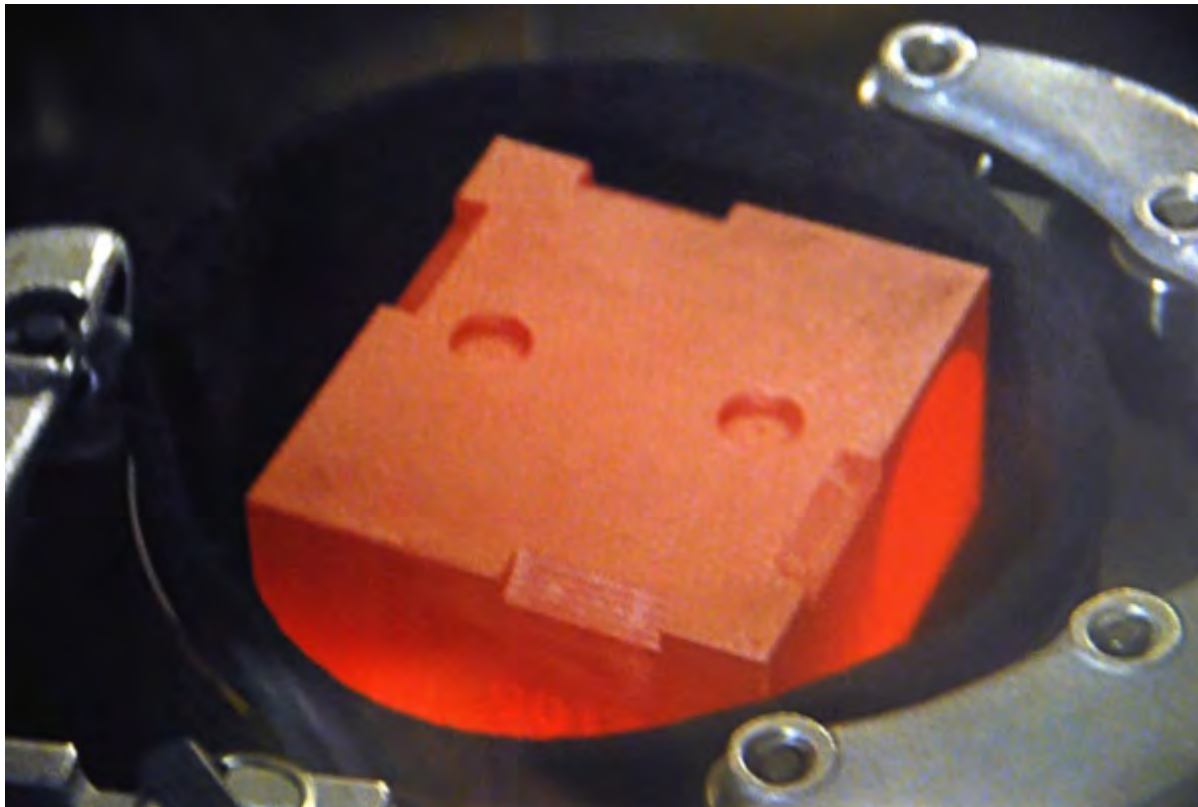
GPMS-RTG

Самый мощный из космических РИТЭГов. 7,8 кг плутония-238 давали 4400 Вт тепловой мощности и 300 Вт электрической. Использовался на солнечном зонде «Улисс», зондах «Галилео», «Кассини-Гюйгенс» и летит к Плутону на «Новых горизонтах».

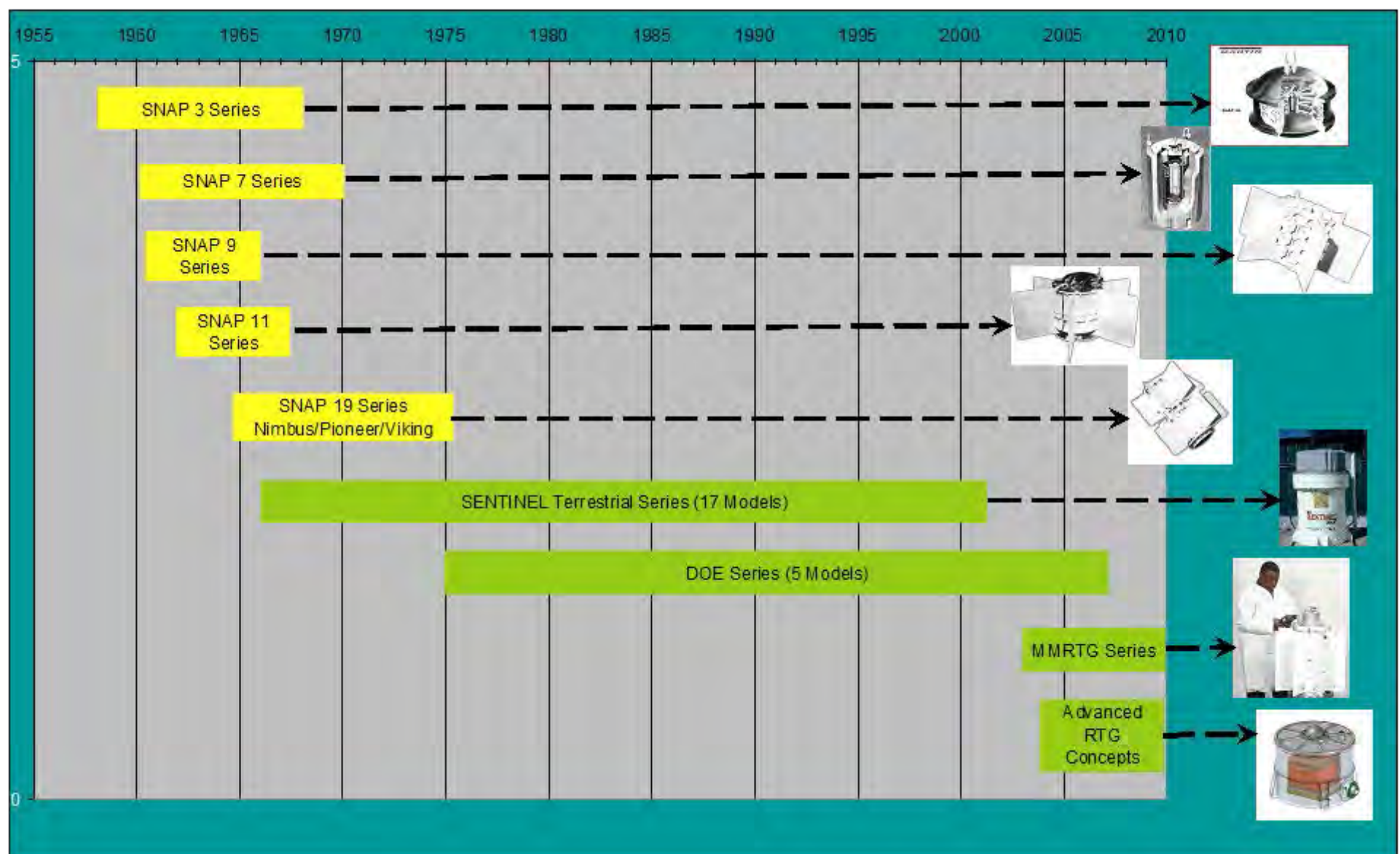


MMRTG

РИТЭГ для «Кьюриосити». 4 кг плутония-238, 2000 Вт тепловой мощности, 100 Вт электрической.



Тёплый ламповый кубик плутония.



РИТЭГи США с привязкой по времени.

Сводная таблица:

Название	Носители (количество на аппарате)	Максимальная мощность		Изо топ	Вес топлива, кг	Полная масса, кг
		Электрическая, Вт	Тепловая, Вт			
MMRTG	MSL/Curiosity rover	~110	~2000	²³⁸ Pu	~4	<45
GPHS-RTG	Cassini (3), New Horizons (1), Galileo (2), Ulysses (1)	300	4400	²³⁸ Pu	7.8	55.9–57.8
MHW-RTG	LES-8/9, Voyager 1 (3), Voyager 2 (3)	160	2400	²³⁸ Pu	~4.5	37.7
SNAP-3B	Transit-4A (1)	2.7	52.5	²³⁸ Pu	?	2.1
SNAP-9A	Transit 5BN1/2 (1)	25	525	²³⁸ Pu	~1	12.3
SNAP-19	Nimbus-3 (2), Pioneer 10 (4), Pioneer 11 (4)	40.3	525	²³⁸ Pu	~1	13.6
модификация SNAP-19	Viking 1 (2), Viking 2 (2)	42.7	525	²³⁸ Pu	~1	15.2
SNAP-27	Apollo 12–17 ALSEP (1)	73	1,480	²³⁸ Pu	3.8	20

СССР/Россия

В СССР и России космических РИТЭГов было мало. Первым экспериментальным генератором стал РИТЭГ «Лимон-1» на полонии-210, созданный в 1962 году:

Основные характеристики установки "Лимон-1"				
Характеристика	Время эксплуатации			
	48	1000	1400	2000
	часов	часов	часов	часов
Тепловая мощность РИТ, Вт	244	200	185	163,5
ЭДС, В	2,85	2,3	2,09	1,88
Напряжение на нагрузочном сопротивлении 0,34 Ом, В	1,4	1,14	1,04	0,92
Выходная электрическая мощность изделия, Вт	5,8	3,79	3,24	2,52
Активность РИТ по полонию-210, Ки	7700	6300	5820	5140
Нейтронный фон на расстоянии 0,5 м от источника, н/(с*см ²)	20-30			
Вес изделия, г	3200			
Габариты изделия, мм	Диаметр 190, высота 210			

Первыми космическими РИТЭГа́ми стали «Орион-1» электрической мощностью 20 Вт на полонии-210 и запущенные на связных спутниках серии «Стрела-1» — «Космос-84» и «Космос-90». Блоки обогрева стояли на «Луноходах» -1 и -2, и РИТЭГ стоял на миссии «Марс-96»:

Табл.4 Радионуклидные термоэлектрические генераторы (РТГ) и блоки обогрева (БО) на полонии-210 и плутонии-238, источник гамма-излучения (ИИ) на тулии-170

Спутник	Дата запуска	Высота орбиты, место нахождения	РТГ, БО, ИИ	Электрич./тепловая мощность, Вт	Время работы, час
Космос-84	03.09.1965	1300 км	РТГ «Орион-1» на полонии-210	~20 Вт _{эл}	~3000
Космос-90	18.09.1965	1300 км	РТГ «Орион-2» на полонии-210	~20 Вт _{эл}	~3000
Луна-17	17.11.1970	Луноход-1	БО на полонии-210	~900 Вт _{теп}	~2000
Орбитальная станция «Салют-1»	19.04.1971	200-222 км Станция спущена в Тихий океан 11.10.1971 г.	ИИ на тулии-170	—	—
Луна-21	16.01.1973	Луноход-2	БО на полонии-210	~900 Вт _{теп}	~3000
Марс-96	16.11.1996	Падение при запуске в Индийский океан	РТГ «Ангел» и БО на плутонии-238 в малых станциях и пенетраторах	~0,2 Вт _{эл}	?

В то же время РИТЭГи очень активно использовались в маяках, навигационных буйах и прочем наземном оборудовании — серии «БЭТА», «РИТЭГ-ИЭУ» и многие другие.

Типы и основные характеристики РТГ советского производства						
	Тепловая мощность (ватт)	Начальная номинальная активность (килоюри)	Электрическая мощность (ватт)	Выходное напряжение (вольт)	Масса (кг)	Год начала массового производства
Эфир-МА	720	111	30	35	1250	1976
ИЕУ-1	2200	49	80	24	2500	1976
ИЕУ-2	580	89	14	6	600	1977
Бета-М	230	35	10		560	1978
Гонг	315	49	18	14	600	1983
Горн	1100	170	60	7(14)	1050 (3 РИТ-90)	1983
ИЕУ-2М	690	106	20	14	600	1985
Сеностав	1870	288			1250	1989
ИЕУ-1М	2200(3300)	340(510)	120(180)	28	2(3) x 1050	1990

Конструкция

Практически все РИТЭГи используют термоэлектрические преобразователи и поэтому имеют одинаковую конструкцию:



Перспективы

Все летавшие РИТЭГи отличает очень низкий КПД — как правило, электрическая мощность меньше 10% от тепловой. Поэтому в начале XXI века в NASA был запущен проект [ASRG](#) — РИТЭГ с двигателем Стирлинга. Ожидалось повышение КПД до 30% и 140 Вт электрической мощности при 500 Вт тепловой. К сожалению, проект был остановлен в 2013 году из-за превышения бюджета. Но, теоретически, применение более эффективных преобразователей тепла в электричество способно серьезно поднять КПД РИТЭГов.

Достоинства и недостатки

- Достоинства:
- 1. Очень простая конструкция.

2. Может работать годами и десятилетиями, деградируя постепенно.
3. Может использоваться одновременно для обогрева и электропитания.
4. Не требует управления и присмотра.

Недостатки:

1. Требуются редкие и дорогие изотопы в качестве топлива.
2. Производство топлива сложное, дорогое и медленное.
3. Низкий КПД.
4. Мощность ограничивается сотнями ватт. РИТЭГ киловаттной электрической мощности уже слабо оправдан, мегаваттной — практически не имеет смысла: будет слишком дорогим и тяжелым.

Сочетание таких достоинств и недостатков означает, что РИТЭГи и блоки обогрева занимают свою нишу в космической энергетике и сохраняют её и далее. Они позволяют просто и эффективно обогревать и питать электричеством межпланетные аппараты, но от них не стоит ждать какого-либо энергетического прорыва.

Источники

Кроме Википедии использовались:

- Документ «[Космическая ядерная энергия: открывая последний горизонт](#)».
- Тема «[Отечественные РИТЭГ](#)» на «[Новостях Космонавтики](#)».
- [Отечественные РИТЭГи](#).
- [Teledyne heritage](#).
- [RTG на сайте NASA](#).

Теги: [РИТЭГ](#), [МКА](#)

↑

+65

↓

📌


93

👁

49,1k

💬

28



682,7

213,6

966

Карма

Рейтинг


Подписчики

Филипп Терехов

@lozga

Тестировщик и популяризатор космонавтики

Комментарии 28

- 

zvorygin

27 июля 2014 в 19:17

🔖


📌

↑

0

↓

У РИТЭГов, вроде, есть большая проблема с тем, куда деть выделяющееся тепло. На земле все довольно просто — в воду или в воздух — а в космосе?

Мне кажется рассеивать через тепловое излучение 2-4 КВт тепловой мощности спутнику очень сложно.
- 

lozga

27 июля 2014 в 19:21

🔖

📌


📄

🔄

↑

+3

↓

Это вопрос расчета теплового баланса аппарата. Как правило, получается наоборот — зонды оснащаются блоками обогрева, чтобы чувствительные места не замерзли.
- 

level3

27 июля 2014 в 20:27

🔖

📌

📄

🔄

↑

0

↓

Наоборот от того что вы сказали :) Проблемно отвести лишнюю мощность когда она появилась (включение дополнительных приборов, научной аппаратуры) и сделать это быстро, для этого космические аппараты делают с отрицательным балансом теплового

пакета и этот минус покрывают нагревательными элементами, а когда нужно что-то включить типа передатчика который греть сильно будет, то выключают тепловой элемент. То есть в космосе нельзя быстро охладить, ну кроме как испарения рабочего тела, но это не подходит для продолжительной работы. Можно только быстро нагреть или быстро выключить обогреватель :)



lozga 27 июля 2014 в 20:32



↑ +3 ↓

На «Кассини-Гюйгенс» поставили **82 блока обогрева**. А их выключить нельзя. Так что очень сильно зависит от миссии.



level3 27 июля 2014 в 20:40



↑ 0 ↓

По ссылке говорят то же что и я «Some of this heat is produced electrically because it is easier to control, but electrical heaters are far less efficient than a RHU because RTGs convert only a few percent of their heat to electricity and reject the rest to space.»

По поводу выключить, полностью нет, а вот регулировать мощность можно. Например при перегреве происходит термическое расширение управляющего элемента который увеличивает промежуток между радиоактивными элементами тем самым уменьшая интенсивность распада.



lozga 27 июля 2014 в 20:46



↑ +5 ↓

У элементов РИТЭГа промежутки между элементами ни на что не влияют, это же не реактор с отражателями нейтронов и цепной реакцией.



level3 27 июля 2014 в 21:07



↑ +1 ↓

Хм, значит что-то напутал...



datacompboy 27 июля 2014 в 21:06



↑ +3 ↓

двигатель стирлинга сильно снизит срок службы — всё-таки двигающиеся детали.



lozga 27 июля 2014 в 21:35



↑ +1 ↓

Спутники на геостационарной орбите наводят антенны на Землю и поворачивают солнечные батареи 15 лет активного существования, так что я не думаю, что срок службы сильно упадет. А КПД вырастет.



datacompboy 27 июля 2014 в 21:40



↑ +6 ↓

не думаю, что они батареи поворачивают с частотой 10 раз в секунду...



AlexanderG 28 июля 2014 в 10:35



↑ 0 ↓

У Владимира Сыромятникова описывался эксперимент с выводом в составе спутника девайса, состоящего из электродвигателя, редуктора и электротормоза. Он не делал никакой полезной работы, использовался для оценки износа движущихся частей. Не помню цифр, но несмотря на примитивность конструкции, оно проработало достаточно долго. Если же использовать современные материалы, магнитный подвес и т.п., уверен, что никаких проблем с износом не будет.



MichaelBorisov 28 июля 2014 в 16:40



↑ 0 ↓

В двигателе Стирлинга используются поршни в цилиндрах, тут магнитная подвеска неприменима. Вот если сделать цикл Ренкина и турбину для привода генератора — там уже больше возможностей для уменьшения трения.



rommas 27 июля 2014 в 21:31



↑ +2 ↓

>> Лунное научное оборудование было выключено ещё в 1977 году (люди и аппаратура на Земле требовали денег, а их не хватало), а РИТЭГи всё ещё работают, и потеряли всего лишь 10% от начальной мощности.

А в чем вообще кроется принципиальная необходимость выключать такое оборудование? Ну работало бы себе там понемногу, для этого людей на земле не нужно. А сейчас бы нашлись какие-нибудь энтузиасты, которые с удовольствием бы поработали с телеметрией этих древних научных приборов, при условии что они еще функционируют, конечно. Как с [ISEE-3](#)



lozga 27 июля 2014 в 21:36



↑ 0 ↓

На Земле стояло оборудование, работали люди. Это всё стоило денег, которые стали экономить. Вот и выключили. Я тоже думаю, что зря, там сейсмометры стояли, можно было бы лунотрясения и падения метеоритов фиксировать.



rommas 27 июля 2014 в 21:41



↑ +3 ↓

Ну так я про то, чтобы выключили что надо на Земле, а людей по другим отделам, если хотят экономить. Но вот зачем выключать там, на Луне? Это просто не первая такая новость, про многие космические аппараты такое слышал. Или чтобы радио шум не создавали?



 Meklon 27 июля 2014 в 21:51   

 0 

Вряд ли там шум. Узкий же луч.

 AlexanderG 28 июля 2014 в 10:37   

 0 

Часто на аппаратах есть всенаправленная антенна малой мощности для связи при потере ориентации/основных антенн.

 AlexanderG 28 июля 2014 в 10:36   

 -1 

На всякий случай. Вдруг возникнет сбой и аппарат запустит двигатели, например?

 a5b  28 июля 2014 в 03:37   

 +3 

Википедия сообщает в [Apollo Lunar Surface Experiments Package](#), что к 1977 году генерируемой мощности хватало только на работу передатчика, но не научных инструментов (без указания источника данной информации):

The ALSEP system and instruments were controlled by commands from Earth. The stations ran from deployment until they were turned off on 30 September 1977 due primarily to budgetary considerations. Additionally, by 1977 the power packs could not run both the transmitter and any other instrument, and the ALSEP control room was needed for the attempt to reactivate Skylab.

[NASA уточняет](#), что передатчики все же не были отключены и продолжили посылать несущую для геодезических и астрометрических целей:





When funding for the technical and scientific support ran out, all five ALSEP stations were officially shut down on September 30 1977, after more than 153,000 commands were transmitted to them, and more than one trillion bits of science data were received on Earth. Although the experiments were turned off, the transmitters continued to send carrier signals which were used by various institutions, including the Jet Propulsion Laboratory, for geodetic and astrometric studies, and spacecraft navigation....

The ALSEP program cost NASA an estimated \$US200 million, including the design and development of the stations and experiments, support engineering work in Houston, and the analysis of the data by dozens of University laboratories around the world. It cost NASA \$US2 million a year to operate.

[Финальный отчет 1979 о программе ASLEP](#) года также упоминает включенные передатчики после сентября 1977 года (стр 109; см также стр 124 о состоянии станций на момент отключения):

The NASA Jet Propulsion Laboratory (JPL) needed the ALSEP transmitters for its very long base interferometer (VLBI) experiments and requested that the transmitters be left «on» after the termination of ALSEP operation in 1977.

Частотный диапазон — 2270-2300 МГц (последняя страница статьи Very Long Baseline Interferometry (VLBI) Possibilities for Lunar Study, JPL Technical Report 32-1526, Vol XII; [ipnpr.jpl.nasa.gov/progress_report2/XII/XIII.PDF](#)). Однако я не смог найти упоминаний об экспериментах с ALSEP после 1977 года.

 a5b 28 июля 2014 в 04:05   

 0 

В обсуждении sci.space.history (13-15 July, 2004) [www.spacebanter.com/showthread.php?t=49839](#) упоминали слухи, что последние успешные приемы несущей ALSEP были в 1980-ых, возможно даже ближе к концу десятилетия. В сентябре 1977 их РИТЭГи выдавали 43, 58, 36, 61, 58.5 ватт (вместо 70-75 изначальных; оценка в посте "РИТЭГи всё ещё работают, и потеряли всего лишь 10% от начальной мощности и." завышена). Вполне вероятно, что через несколько лет их мощность упала ниже, чем необходимая для питания радиопередатчика (почти 10 Вт на сам передатчик, еще несколько на вспомогательные системы — стр 92 [www.ninfinger.org/karld/ALSEP%20Documents/FSFM_RevB.pdf](#)); кроме того могло отказать оборудование.

 lozga 28 июля 2014 в 06:10   

 +1 

Спасибо за развернутый комментарий. Получается, что здесь есть некоторое противоречие в источниках. Оценку в 90% я взял из [Википедии же](#), плюс, она неплохо согласуется с расчетной деградацией плутониевого РИТЭГа на 0,78% в год.








 a5b  28 июля 2014 в 06:41   

 0 

В википедии эта завышенная оценка звучит примерно как «Через десять лет SNAP-27 все еще выдавал более 90% от изначальных 70 Вт» = «After ten years, a SNAP-27 still produced more than 90% of its initial output of 70 watts.» (у вас было «РИТЭГи всё ещё работают, и потеряли всего лишь 10%» вместо «тогда РИТЭГи все еще работали»)

Фактические замеры электрической мощности за 1977 год есть в [http://www.lpi.usra.edu/lunar/documents/ALSEP_Performance_Summary_Reports_1977.pdf#page=198](#). Исходные (1969-1972): 73.6 72.6 74.7 70.9 75.4; январь 1977: 49.4 60.6 50.7 62.8; сентябрь 1977: 42.7 58.4 36.0 61.1 58.5. Ни одна установка не давала 90% мощности менее чем через 10 лет. В то же время снижение могло быть вызвано деградацией преобразователей, тогда как РИТЭГи давали достаточно много тепловой мощности.

В блоге [dorkmission.blogspot.com/2011/08/acronyms-of-day-nasa-alsep-rtg-rch.html](#) есть график электрической мощности RTG Apollo17

 lozga 28 июля 2014 в 06:50      0 

Да, это опечатка, имелось в виду на 1977 год. Ладно, поправлю.





Psionic 28 июля 2014 в 00:21  

 +1 

А как обстоят дела с радиационной защитой электроники? Ведь если РИТЭГ греется от распада это значит что вокруг него немалый такой фон.



a5b  28 июля 2014 в 03:13    

 +2 

В РИТЭГ, особенно космических, используется плутоний-238, который с вероятностью очень близкой к 1 испытывает альфа-распад, с испусканием 5,5 МэВ ядра гелия-4. Получаемый уран-234 очень медленно распадается, также через альфа-распад. Экранирование от 5 МэВ альфа частиц очень эффективно.

В документе "[FAQ about NASA's use of radioisotope power systems](#)" сказано:

Multiple layers of protective material protect and contain the fuel and reduce the chance of a release of the plutonium dioxide. The plutonium dioxide pellets are first clad in iridium, a strong, ductile, corrosion-resistant metal with melting point greater than 4820 degrees Fahrenheit (2660 degrees Celsius).

Защита каждого модуля, содержащего плутоний ("[General Purpose Heat Source module](#)") описана в <http://solarsystem.nasa.gov/rps/types.cfm>; более подробная статья 2006 года: [Mission of Daring: The General-Purpose Heat Source Radioisotope Thermoelectric Generator](#). Столь сложная система предотвращает выход токсичного плутония из капсул даже в случае взрыва ракеты-носителя, входа в атмосферу, удара о поверхность планеты, чтобы избежать возможного попадания в пищевую цепочку ('The main safety objective was to keep the fuel contained or immobilized to prevent inhalation or ingestion by humans.')



Psionic 29 июля 2014 в 01:25    

 0 

Я про защиту от Гамма квантов (они сопровождают как альфа так и бета распад), такие высокоэнергетичные фотоны способные разрушить своей ионизационной способностью кристаллическую решетку кремния чем запороть один вентиль-транзистор гденибуть в микросхеме.







AndrewFoma 28 июля 2014 в 06:38    

 0 

не знаю как с защитой электроники, но лично стоял в метре от действующего РИТЭГа (генератор выступал в качестве элемента питания маяка на Курильских островах), так вот бытовой РАДЭКС (не помню модель точно) в мкР/ч зашкалил и «завис». :)



a5b 28 июля 2014 в 06:46    

 0 

Для маяков часто использовали [стронций-90](#)...