



ФЭИ
РОСАТОМ

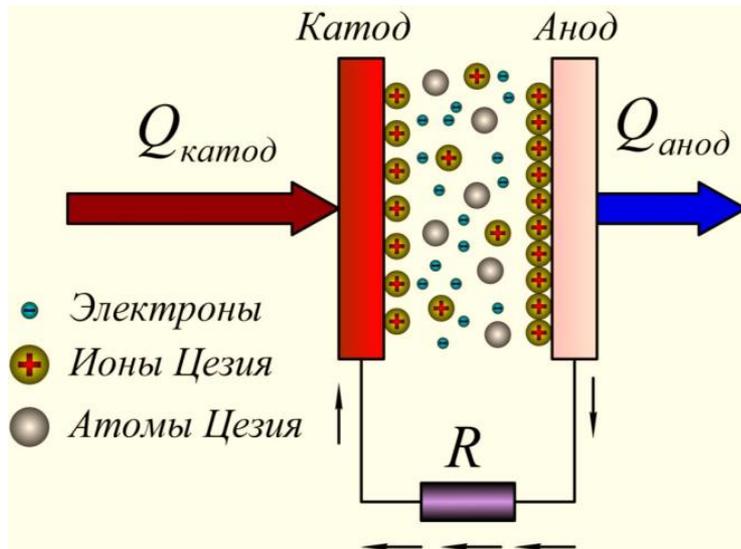
Термоэмиссионное преобразование тепловой энергии в электрическую в прикладных исследованиях и разработках

В.И. Ярыгин

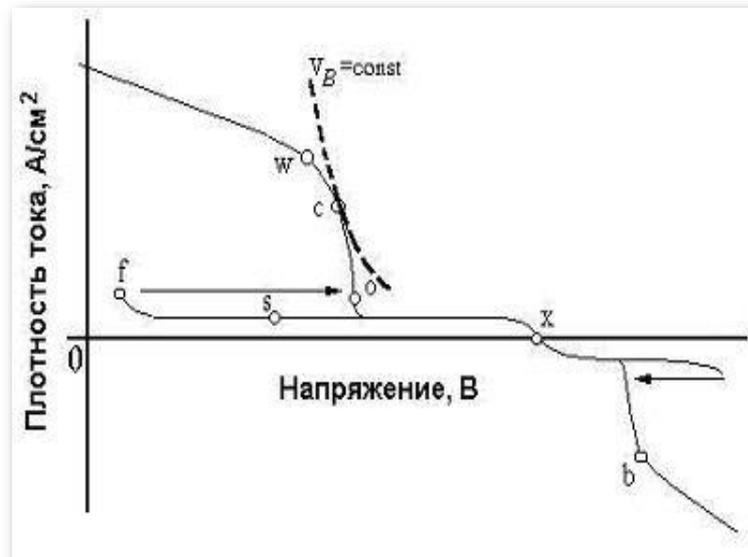
Обнинск – 13 октября 2022 г.

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕРМОЭМИССИОННОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ

Принципиальная схема ТЭП



Характерный вид ВАХ



Принципиальные области применения термоэмиссии

Использование термоэмиссионного рабочего процесса преобразования энергии имеет несомненную перспективу при создании энергетических установок и систем различного назначения:

- **космических,**
- **авиационно-космических,**
- **наземных,**
- **морских.**

Выполнен аванпроект термоэмиссионных АСММ 10/100 специального назначения для северных территорий

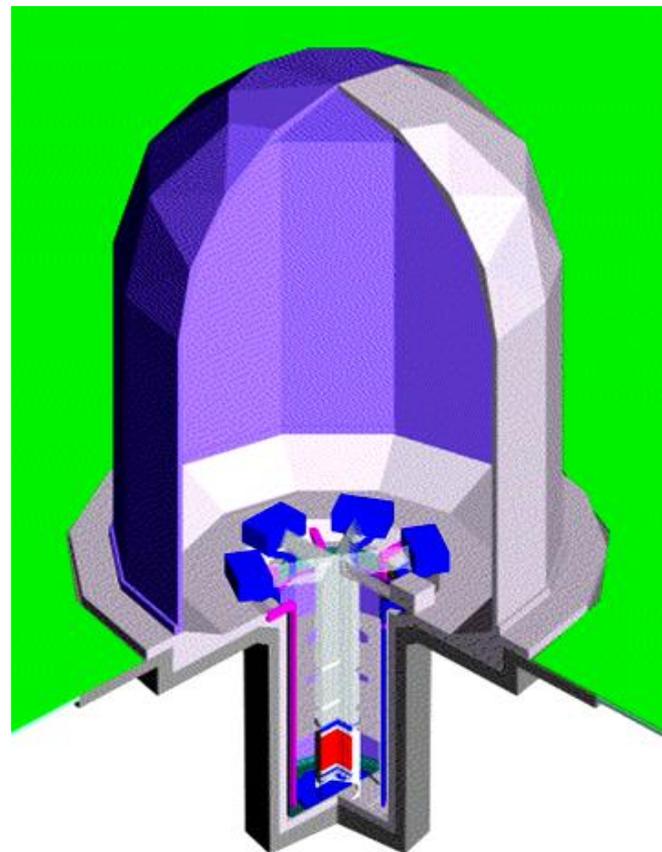
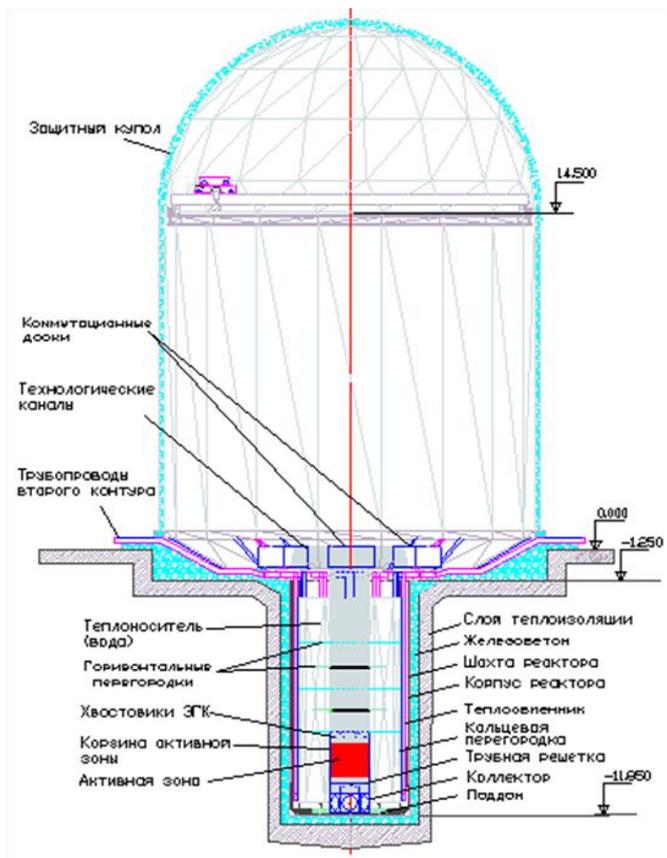


СПЕЦСТРОЙ РОССИИ
— 1951 —

- ЗОНА ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО СНАБЖЕНИЯ
- ЗОНА ПЕРСПЕКТИВНОГО РАЗМЕЩЕНИЯ ПИЛОТНЫХ ОБЪЕКТОВ
- ЗОНА ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ
- ЗОНЫ РЕГИОНАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОСЕТЕЙ
- ПУНКТЫ РАЗМЕЩЕНИЯ ОБЪЕКТОВ ВОЕННО-СТРАТЕГИЧЕСКОГО ПРИСУТСТВИЯ



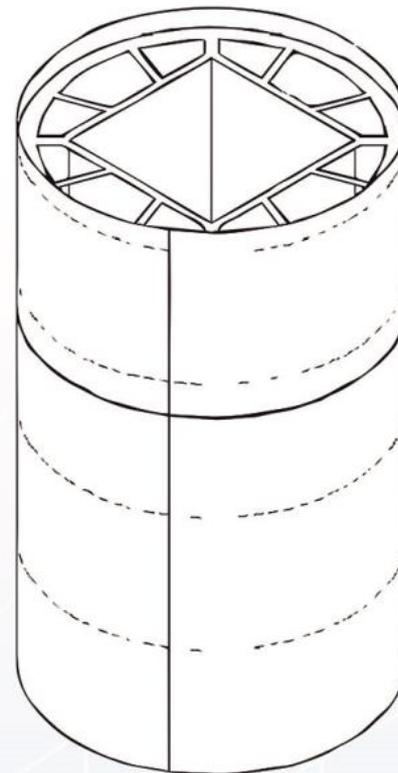
ВАРИАНТ НАЗЕМНОГО РАЗМЕЩЕНИЯ



ВАРИАНТ РАЗМЕЩЕНИЯ В ВОДНОЙ СРЕДЕ



Кессон для морского базирования



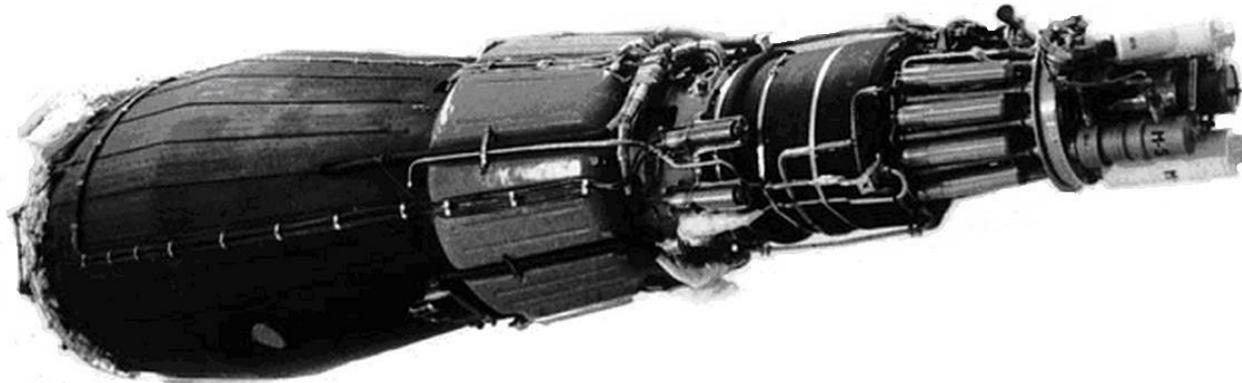
Пример критических параметров реактора-преобразователя с одноэлементными ЭГК

В качестве топлива ЭГК ЯЭУ космического назначения использовался диоксид урана с высоким обогащением по U-235. Переход на низкообогащенный уран (менее 20%) переводит разрабатываемую установку в область двойного назначения с соответствующим удовлетворением требованием МАГАТЭ по нераспространению

Тип ЯЭУ	Обогащение по U-235, %	Диаметр аз, мм	Высота аз, мм	Количество ЭГК	Загрузка по U-235, кг
ЯЭУ-10	19.75	440	500	106	19
	50	360	400	70	36.7
ЯЭУ-100	19.75	926	500	331	56.4

**Референтность термоземиссии подтверждена
созданием термоземиссионных ЯЭУ
1-го поколения «ТОПАЗ» и «Енисей»**

Термоэмиссионная космическая ЯЭУ «ТОПАЗ»

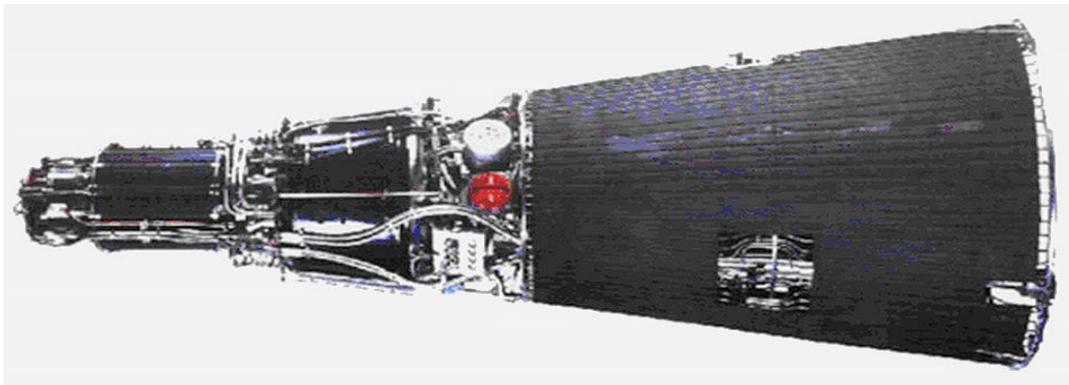


Решение о разработке первой советской термоэмиссионной космической ЯЭУ «ТОПАЗ» (первоначальное название «Тополь») было принято в 1962 г.

Первоначально ЯЭУ «ТОПАЗ» разрабатывалось в качестве дублирующей ЯЭУ «Бук», но с более высоким уровнем электрической мощности (5-6 кВт с ресурсом 1,5 месяца).

С 1972 г. все проектно-конструкторские работы по ЯЭУ «ТОПАЗ» выполнялись в НПО «Красная Звезда». Научный руководитель работ – ФЭИ.

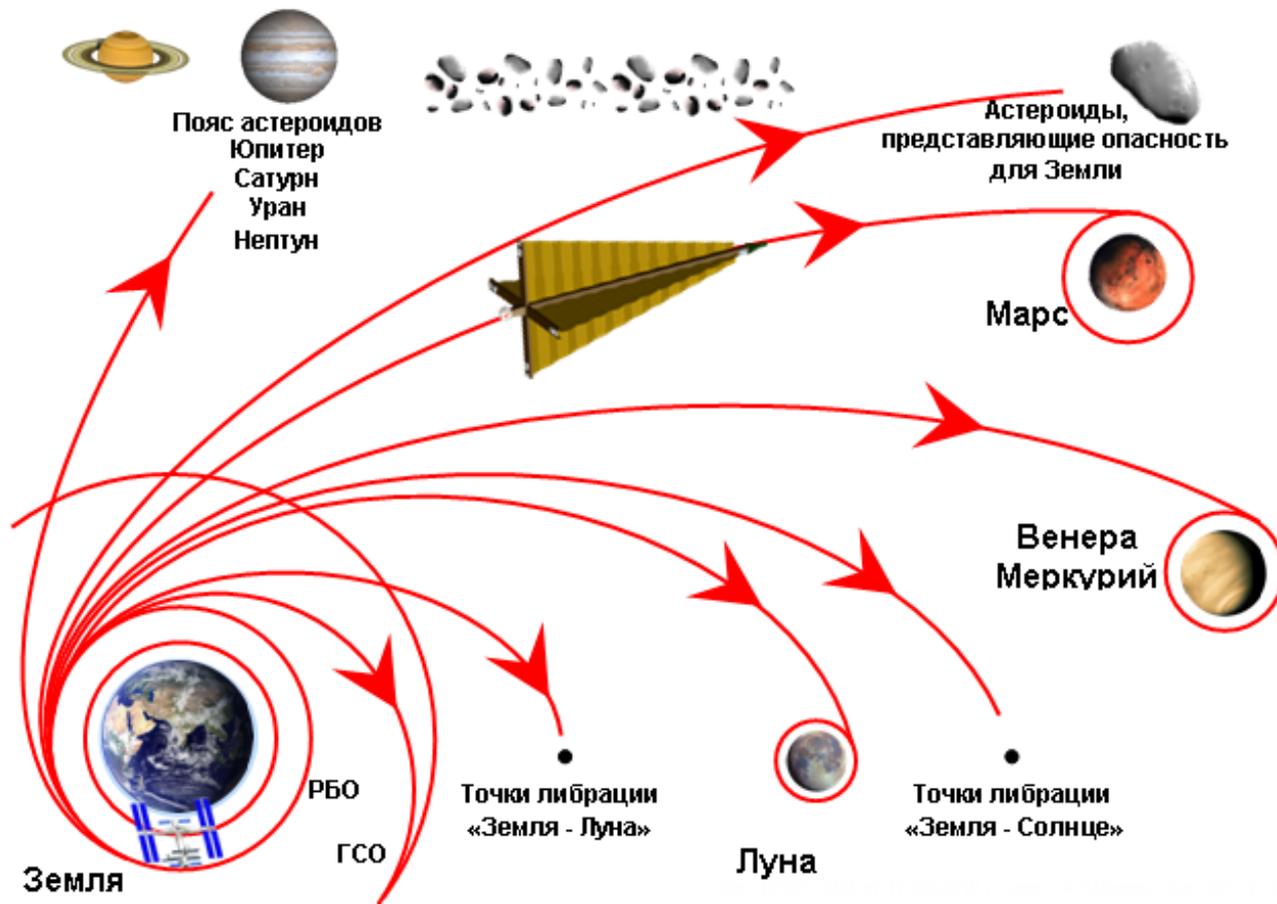
Наземный прототип термоэмиссионной ЯЭУ «ЕНИСЕЙ»



Термоэмиссионная ЯЭУ «Енисей» разрабатывалась в соответствии с постановлением Правительства СССР от 21.07.1967 г. для КА системы непосредственного телевизионного вещания из космоса кооперацией организаций: Главный конструктор – Центральное конструкторское бюро машиностроения (ЦКБМ), Научный руководитель – ИАЭ им. И.В. Курчатова, технология и конструкция ЭГК и элементов активной зоны реактора – НИИ НПО «Луч», система автоматического управления – СФТИ и ряд других организаций.

ЯЭУ «Енисей» должна была на 1-м этапе генерировать полезную электрическую мощность 4,5-5,5 кВт при ресурсе 1,5 года с доведением его в дальнейшем до 3 лет.

Современные космические задачи человечества, решаемые с помощью ядерной энергетики



Основатели научной Школы ФЭИ прямого преобразования



А.И.Лейпунский



И.И. Бондаренко



В.Я. Пупко



В.А. Мальх



В.И. Субботин

Исторический технический опыт – МКРЦ

Система морской космической разведки и целеуказания



Результаты лётно-конструкторских испытаний КЯЭУ «ТОПАЗ» (1987-1988 гг.)



	Первый образец	Второй образец
Космический аппарат	"Космос 1818"	"Космос 1867"
Высота орбиты	800 км	
Лётный образец ЯЭУ	4Я 90-22Л	4Я 90-23Л
Материал эмиттеров ЭГК	монокристалл молибдена	монокристалл вольфрама
Ресурс работы	142 суток	342 суток
Полезная электрическая мощность, кВт начало испытаний конец испытаний	5,6 4,8	5,6 3
Габариты, м	1,3 (Dmax) 4,7 (L)	
Масса ЯЭБ, кг	1100	
Причина прекращения испытаний	плановое исчерпание запасов цезия	

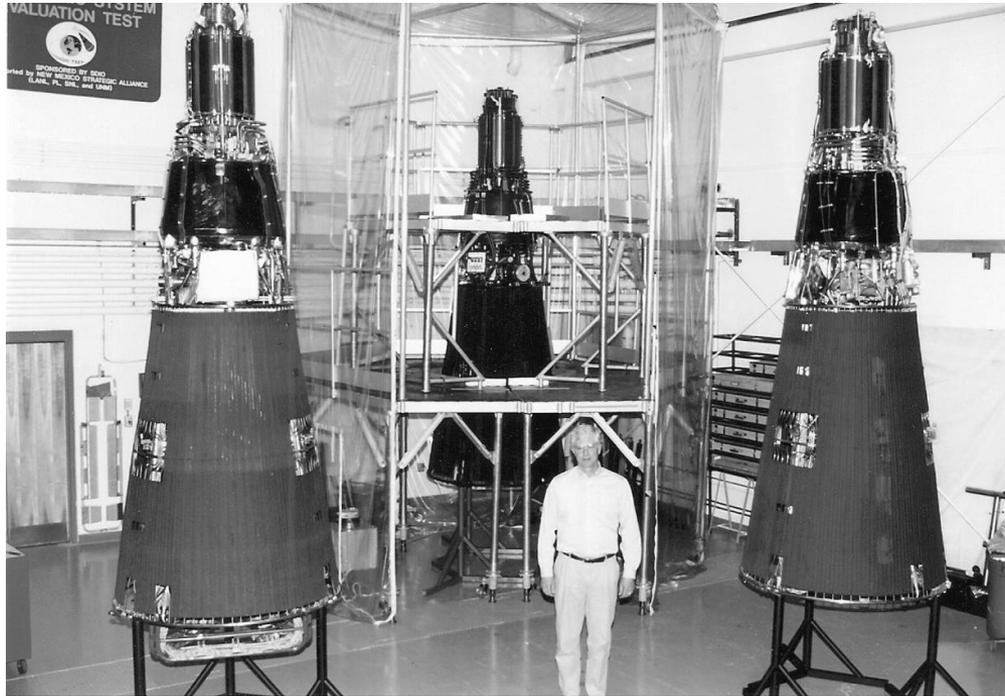


Международная программа «ТОПАЗ-2» («ЕНИСЕЙ»)



Погрузка реактора «ТОПАЗ-2» («Енисей») в транспортном контейнере в самолет С-5 военно-воздушных сил США, Санкт-Петербург, Россия (апрель 1992 г.).

Международная программа «ТОПАЗ-2» («ЕНИСЕЙ») (продолжение)



Майор Дан Малдер и реакторы «ТОПАЗ-2» из второй поставки в Инженерном исследовательском институте Университета Нью-Мексико в Альбукерке (июль 1993 г.).

Proceedings of Nuclear and Emerging Technologies for Space (NETS) 2017 - Orlando, FL February 27 – March 2, 2017



A 40kWe Nuclear Reactor Power System Concept for Mars Base

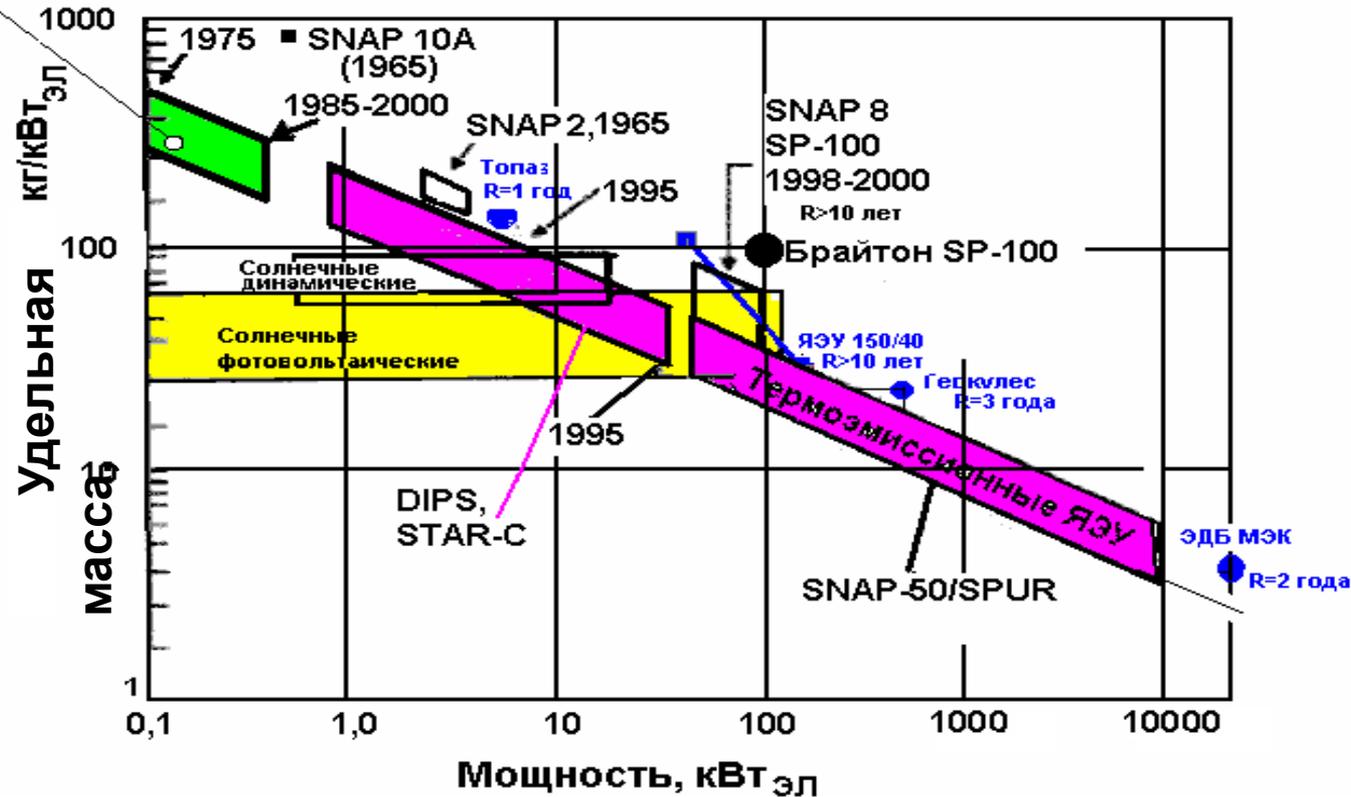


Китай – лунная база с ТЯЭУ к 2030 году



Характеристики ЯЭУ с различными схемами преобразования энергии

Радиоизотопные генераторы



От КА МКРЦ к системе глобальной РЦ с термоэмиссионной ЯЭУ 2-ого поколения

Прототип КА с ЯЭУ



- высокоорбитальный
- радиационно-безопасный
- с полетным ресурсом более года
- с мощной ЯЭУ в несколько десятков кВт

Перспективный КА радиолокационного наблюдения с термоэмиссионной ЯЭУ 2-го поколения мощностью $25-50 \text{ кВт}_{\text{эл}}$



Эффективность термоэмиссионной технологии по параметру «коэффициент полезного действия»

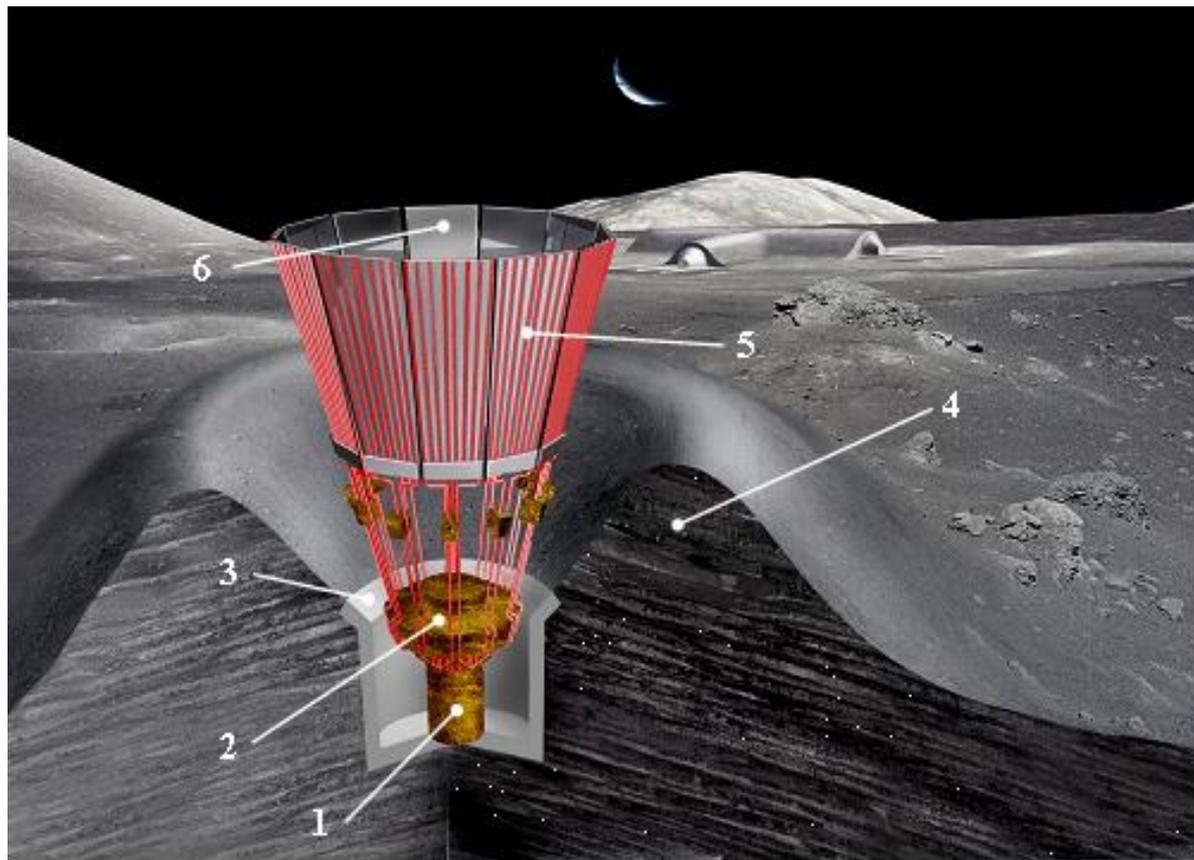


ФЭИ
РОСАТОМ

К.п.д. %	Название проекта	Год реализации
8-10	КЯЭУ «ТОПАЗ»	1987-88 гг.
11-15	Разработка КЯЭУ 2-го поколения	Настоящее время
20-25	Инновационная термоэмиссионная технология	Перспективные краткосрочные программы

При верхней температуре термодинамического цикла преобразования в диапазоне 1600-1800 К

Лунная АЭС на основе термоэмиссионной ЯЭУ 2-го поколения

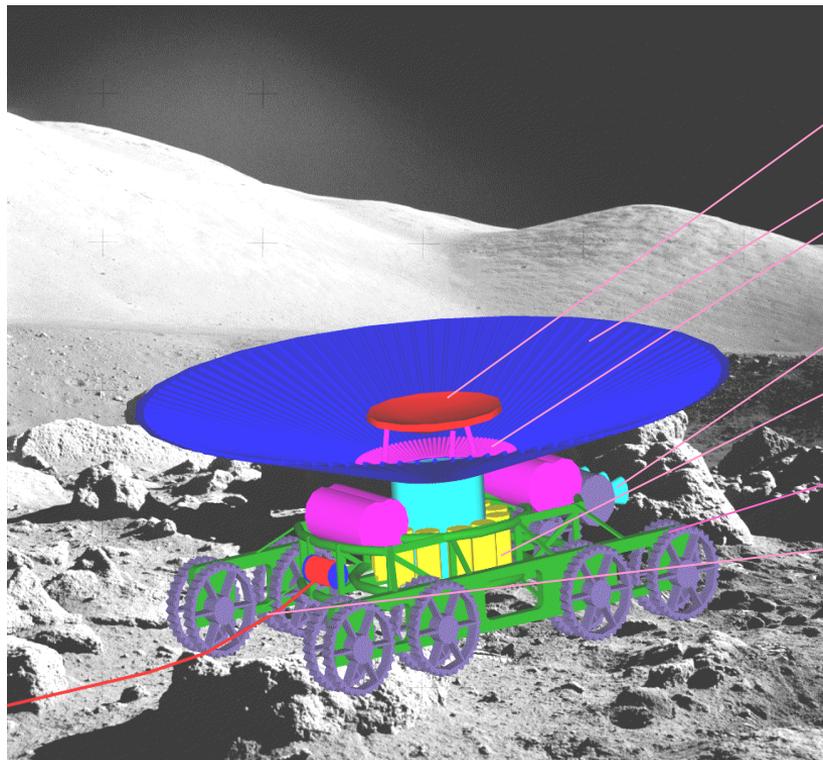


Лунная АЭС на основе космической ЯЭУ:

- 1 – термоэмиссионный реактор-преобразователь в предохранительном кожухе;
- 2 – теньевая радиационная защита оборудования ЯЭУ;
- 3 – опорное кольцо;
- 4 – вал радиационной защиты из лунного грунта;
- 5 – холодильник-излучатель на основе тепловых труб;
- 6 – отражающие панели.

Термоэмиссионная ЯЭУ на тепловых трубах для лунной базы

ЯЭУ типа «SAFE-300-ТЭП»



Балластный излучатель

Радиатор

ТЭП

Телекамеры блока
управления

Приводы СУЗ

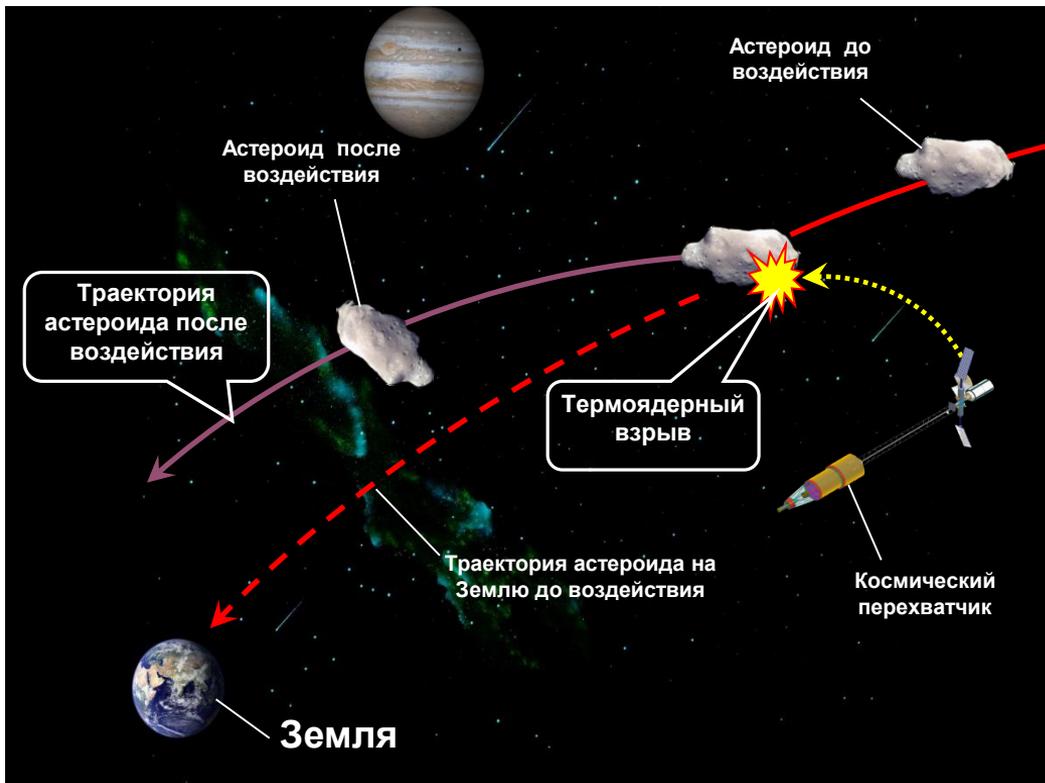
Шасси

Силовой и
телеметрический кабели

Система защиты Земли от астероидно-кометной опасности



ФЗИ
РОСАТОМ



Назначение:

Защита Земли от астероидов и комет.

Состав системы:

- Космический аппарат для проведения испытаний средств воздействия;
 - **Масса** -7-8 тонн;
 - **Ресурс** – 10 лет;
 - **Мощность** – 150 кВт.
- Космический перехватчик;
 - **Масса** -15-50 тонн;
 - **Ресурс** – до 10 лет;
 - **Мощность** -1-10 МВт.

Вклад России в систему защиты Земли

Резюме

***Термоэмиссия была и остается
ключевой отечественной технологией
создания космических ЯЭУ 2-ого поколения
субмегаваттного и мегаваттного классов
в составе космических, наземных и других
энергетических установок специального
назначения.***

**Спасибо
за внимание!**

