

# HIGH FRONTIER

4 ALL | BY PHIL EKLUND



# APPENDIX

BY PHIL EKLUND



# V. Варианты игры и Сценарии

Copyright © 2019, Ion Game Design & Sierra Madre Games, Publication date: April 2020.

Part of High Frontier 4 All - Core : SMG28-4 EAN: 653341041166

**Living Rules update: Dec 18, 2020.**

Сюда включены варианты игры, а также соло, кооперативные и сюжетные сценарии. Все варианты структурированы в одном формате. Любые отклонения от основных и/или модульных правил прямо указаны. Отклонения могут включать в себя изменения в настройке, изменения в правилах, регулирующих игровой процесс, а также изменения в продолжительности игры и условиях победы.

## V1. Быстрый старт (by Phil Eklund)

Этот вариант ускорит ранние этапы игры. Рекомендуется для игр с большим количеством игроков (4 и более), одиночных или кооперативных игр, а также игр с продолжительностью хода 60 лет и более.

- a. **Количество игроков.** 1 или более.
- b. **Подготовка.** Согласуется с Базовым сводом правил С, с любыми модулями, за следующими исключениями:
  - **Диски возраста (С1).** Поместите 4 диска возраста для короткой игры, 5 для промежуточной игры или 7 для модуля Проекты (Futures).
  - **Начальный запас воды (С5).** Все игроки начинают с 0 воды.
- c. **Особые правила.**
  - **1-й солнечный цикл.** В течение первых 12 лет не предпринимаются никакие операции, действия или события. Единственная возможность, доступная игроку в свой ход, — взять в руку верхнюю карту из любой колоды патентов. Эта выбранная карта поставляется без поддержки бонусов (I2g). Во время этого процесса академическое ограничение руки (I2a) не действует. В прошлом году куб солнечных пятен не перемещался (поэтому он должен вернуться в начальный слот).
  - **Бонусный раунд.** Когда каждый игрок получает по 12 карт, начинается бонусный раунд. Каждый игрок может продать столько карт, сколько пожелает, в любом порядке, который он выберет, по одной Воде за каждую, помещая каждую в низ соответствующей колоды патентов по мере ее продажи. Бонусный раунд проводится в обычном порядке игроков. Куб солнечных пятен не перемещается.
  - **Начните обычную** игру. После завершения бонусного раунда сбросьте первый диск возраста и продолжите игру как обычно. Не вставляйте этот диск в ассамблею (O6) и не выполняйте передачу эстафеты (O6a).
- d. **Конец игры.** Игра заканчивается, когда удаляется последний диск возраста.
- e. **Условия победы.** Подсчет очков в соответствии с основным сводом правил М.

## V2. Гонка к Сатурну (by Phil Eklund)

Всемирный руководитель спонсировало новое технологическое соревнование, направленное на продвижение инноваций: гонку на Сатурн и обратно.

- a. **Количество игроков:** 2 и более
- b. **Подготовка:** согласно Базовому своду правил С с любыми модулями.
- c. **Особые правила:** нет
- d. **Конец игры:** достижение цели одним из игроков
- e. **Условия победы:** основная книга правил М не применяется. Победителем становится тот, кто первым высадит Экипаж на поверхность Титана (не аэростат) и вернет его на LEO.

## V3. Большое путешествие (by Andy Graham)

Исследование космоса — это не о деньгах; речь идет об открытиях и славе.

- a. **Количество игроков:** 2 и более
- b. **Подготовка:** согласно Базовому своду правил С с любыми модулями со следующими изменениями:
  - **Диски возраста (С1).** Поместите 2 диска возраста в центр цикла солнечных пятен.
- c. **Особые правила:** нет
- d. **Конец игры:** игра заканчивается, когда последний диск возраста убран.
- e. **Условия победы:** В конце игры игроки получают победные очки только за претензии (M2a) и жетоны славы (M2b).

## V4. Альтруизм (by Phil Eklund)

Двигайтесь в одиночку или вместе, ради будущих поколений (кооператив).

- a. **Количество игроков:** 1 и более
- b. **Подготовка:** согласно Базовому своду правил С с любыми модулями со следующими изменениями:
  - **Диски старшинства (С1).** Разместите 4 диска старшинства для короткой игры, 5 для средней игры или 7 для модуля Проекты (Futures).
  - **Подготовка колоды патентов (С4).** Перетасуйте колоды патентов, как обычно, затем удалите из игры нижнюю половину каждой колоды (с округлением в большую сторону), не смотря.

**Пример: стартовые колоды должны состоять из 6 двигателей, 6 робонавтов, 6 перерабатывающих заводов, 8 генераторов, 6 радиаторов, 6 реакторов, 3 двигателей ГВт, 3 грузовых кораблей, 5 или 6 берналов и 9 колонистов.**

- **Привилегия фракции (С5).** В одиночной игре, если выбранная вами фракция имеет привилегию «Налоги» (Taxes), «Генеральный секретарь» (Secretary-General) или «Преступление» (Felony) (B6a), дополнительно начните с дополнительных 6 Воды.
- c. **Особые правила:**
  - **Операция исследовательского аукциона (I2).** Вместо исследовательского аукциона (I2g) возьмите для своей Операции верхнюю карту колоды патентов, включая бонусное оборудование (I2g). Это стоит количество воды, равное количеству взятых карт. Академическое ограничение на количество карт в руке (I2a) по-прежнему применяется в одиночной игре. С привилегией фракции «Маркетолог» (Marketeer) во время исследовательских аукционов вам разрешено покупать 3 карты за 2 воды.

- d. **Конец игры:** Игра заканчивается, когда удаляется последний диск возраста
- e. **Условия победы:** Подсчет очков согласно Базовому своду правил M:
  - **Одиночная игра.** Побеждаете, если ваш счет составляет 40+ победных очков (короткая), 60+ победных очков (средняя) или 100+ победных очков (Проекты).
  - **Кооператив.** Побеждаете коллективно, если каждый игрок наберет 30+ победных очков (короткая), 50+ победные очки (средняя) или 75+ победные очки (Проекты).

## V5. Падение Гермеса (by Phil Eklund)

Земле угрожает двойной астероид Гермес (8:00?). Ваша миссия — добраться до Гермеса и построить и инфраструктуру, необходимую для отклонения астероидов — заводы и встроенные твердотопливные двигатели, которые могут использовать собственный реголит астероидов, чтобы отклонять их от текущей траектории.

- a. **Количество игроков:** 1
- b. **Подготовка:** Как в Альтруизме (V4b), с любыми модулями, со следующими изменениями:
  - **Диски возраста.** Поместите 2 диска возраста в центр цикла солнечных пятен.
  - **Установка колоды патентов.** Отложите в сторону двигатель Mass Driver перед формированием колоды патентов в соответствии с V4b. Затем добавьте его в стопку из пяти карт двигателей и перетасуйте.
  - **Привилегии фракций.** См. V4b и V4c.
- c. **Особые правила:**
  - **Операция исследовательских аукционов (I2).** Не проводить аукционы. Вместо этого используйте V4c (специальное правило).
  - **I6.** Разведка автоматически успешна на Гермесе а и b с использованием робонавта любого ISRU.
  - **I7.** Для индустриализации Гермеса а или b вам необходимо дополнительно вывести из эксплуатации твердотопливную ракету (серый треугольник двигателя).
- d. **Конец игры:** Игра заканчивается, когда убирается второй диск возраста.
- e. **Условия победы:** До конца игры индустриализуйте обе участка Гермеса.

## V6. Генеральный директор (by Victor Caminha)

Каждые 12 лет совет собирается, чтобы определить, следует ли продолжать космическую программу компании, основываясь на достижениях генерального директора. Это Вы. Зарабатывайте деньги для своей компании и избегайте событий, выставяющих компанию в плохом свете.

- a. **Количество игроков:** 1
- b. **Подготовка:** Как в Альтруизме (V4b), с любыми модулями, со следующими изменениями:
  - **Диски старшинства** Поместите 4 диска старшинства для короткой игры или 7, если вы играете Проектами.
  - **Привилегии фракций.** См. V4b и V4c.
- c. **Специальные правила.** В этот вариант можно играть с Проектами при использовании модулей 1 и 2. Применяющие следующие правила:
  - **Обреченность (E7).** Каждый раз, когда экипаж или колонист-человек принудительно выводятся из эксплуатации, добавьте диск обреченности (используйте диск неиспользованного цвета игрока) в стопку требований.
  - **Заседания Совета.** Добавьте следующие шаги к фазе цикла солнечных пятен (D2):
    - После прохождения порога возраста, но до того, как диск возраста будет удален в D2b, проверьте, был ли достигнут KPI Совета (Ключевой показатель эффективности). Рассчитайте KPI Совета для этого цикла следующим образом:
      - i. Если в стопке спроса есть диски возраста, то стоимость каждого диска равна 7 плюс количество дисков возраста в стопке спроса. Соответственно, KPI для одного диска возраста — 8, для двух — 18, а для трех — 30.
      - ii. Кроме того, каждый диск неизбежности в стопке спроса стоит 3.
      - iii. KPI представляет собой сумму стоимости всех дисков.
    - Удалите все диски неизбежности из стопки требований.
    - Удалите диск возраста из цикла солнечных пятен и поместите его в стопку потребления.

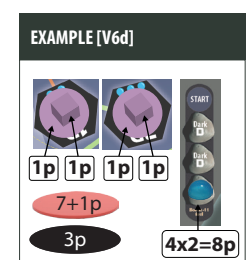
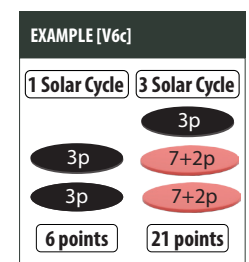
**ПОМНИТЕ.** Поскольку в конце первого солнечного цикла вполне вероятно, что в стопке спроса еще нет дисков, вам обычно не нужно выполнять какие-либо KPI до конца 2-го солнечного цикла. [V6c]

**Пример:** В конце первого Солнечного Цикла до удаления диска возраста в стопке спроса нет дисков возраста, но есть два диска неизбежности. KPI равен 6. Через 36 лет (3 цикла) во время собрания совета директоров в стопке требований есть два диска старшинства и 1 диск фатального исхода. KPI совета директоров для генерального директора равен 21.

- **Исследовательская аукционная операция (I2).** Не проводить аукционы. Вместо этого используйте V4c (специальное правило).
- d. **Конец игры.** Игра заканчивается, когда выполняется одно из следующих условий:
  - Последний диск возраста удаляется.
  - KPI Совета не выполняется в конце солнечного цикла. Чтобы выполнить KPI Совета, вы должны набрать количество победных очков (M2), равное как минимум значению KPI в ходе игры.

**Пример:** стопка спроса содержит 1 диск возраста и 1 диск неизбежности. На данный момент игрок добавил в свою коллекцию две претензии и две фабрики. Претензии и Фабрики приносят по 1 ПО каждое, а Фабрики добавляют дополнительно 8 ПО за то, что являются третьей и четвертой построенными Фабриками типа D. Таким образом, игрок на данный момент накопил 12 победных очков, превысив KPI совета, равный 11 (7+1 для диска возраста + 3 для красного диска). Игра продолжается.

- e. **Условия победы,** без Проектов. подсчет согласно M2.
  - 30-34: удовлетворительно
  - 35-39: хорошо
  - 40-59: отлично
  - 60+: легендарно



- f. **Условия победы, с проектами. Чтобы добиться успеха на 7-м и последнем заседании правления, вместо победных очков вы должны завершить Будущее. Затем подсчитайте свой счет в конце игры (M2):**
- 0-77: удовлетворительно
  - 78-94: хорошо
  - 95-114: отлично
  - 115+: легендарно

## V7. Bios:Earth (by Phil Eklund & Paweł Garycki)

Если у вас есть трилогия Bios (Bios:Genesis, Bios:MegaFauna и Bios:Origins), вы можете пройти полную кампанию и продолжить игру в High Frontier 4 All. Начавшись как биохимический процесс (biont), развившись в микроорганизмы, макроорганизмы и мегафауну с эмоциями и коммуникациями, и, наконец, как разумные существа, направляющиеся в запредельное, заселяющие Солнечную систему и уходящие к ближайшим звездам. Вот самая актуальная подборка правил перехода между играми, охватывающая важные нюансы.

- a. Количество игроков.** с 1 по 4. Для игры в соло используйте *Альтруизм (V4)* или *Генеральный директор (V6)*.
- b. Подготовка.** В соответствии с основной книгой правил **C**, с любыми модулями, кроме конечного состояния Bios: Origins, определяет начальное состояние для High Frontier. Выполните следующие действия (используйте эти правила вместо параграфа **M** из Bios: Origins):
- Starting Faction.** Выбирайте фракции в порядке победы, причем игрок, набравший наибольшее количество очков, выбирает первым. Если ваш высокий балл в Bios: Origins связан с политикой, предпочтительно выберите желтый или фиолетовый цвет. Если с культурой, предпочтительно выбрать либо белый, либо зеленый. Если с промышленностью, предпочтительно выбрать либо красный, либо серый.
  - Starting Politics.** Активный Закон зависит от конечной Философии в Bios: Origins: «ЦЕНТРИСТ», если в центре или рядом с центром, «ЕДИНСТВО», если справа (пацифист или единство), «РАВЕНСТВО», если слева (агностик), или равенство), или «СВОБОДА», если в аболиционизме или свободе.
  - Orbital Capacity.** Любой игрок, достигший морского уровня 8, начинает с удвоенного количества Воды.
  - Nuclear Energy.** Любой игрок, достигший энергии 8, начинает со случайным стартовым двигателем.
  - Bellwethers.** Обычно игроки начинают с валютой, равной количеству Воды, равному количеству патентных колод (6-9) Воды. За каждого Вожака, который есть у игрока, он начинает с одной дополнительной Водой.
  - Марс или Венера.** Если вы играете на Марсе или Венере, см. дополнительно **V8**.
  - Обитаемая Венера** (по желанию). При желании вы можете использовать накладную карту обитаемой Венеры (**V8b**) для другого игрового процесса.
- c. Специальные правила.** Если вы играете в полную игру кампании, продолжая трилогию Bios (Bios:Genesis, Bios: MegaFauna и Bios:Origins), применяются следующие дополнительные правила:
- Начальная привилегия.** Ваша команда получает дополнительные привилегии, определяемые их расой, а именно:
    - Archetype (архетип). Отсутствует.
    - Flyer (летательный аппарат). Масса 0. (миниатюризация)
    - Burrower or Swimmer (норное или плавающее). ISRU 3 (лишайники)
    - Armored (бронированный). Радиационная сопротивляемость +2. (экзоскелет)
  - Бонусы.** В зависимости от технологий, которые вы прокачали в Bios:Origins, начните игру со следующими дополнительными бонусами к орбитальной емкости и ядерной энергии:
    - Footprint. След. Начните со случайной фабрики.
    - Energy. Энергия. На всех ваших двигателях, кроме тех, что на картах людей, есть как минимум 1 значок балерины (**H4c**).
    - Metallurgy. Металлургия. Начните со случайного робонавта.
    - Immunology. Иммунология. Ваша команда и колонисты невосприимчивы к CME Flare и Belt Rolls.
    - Maritime. Морской. Ваши дополнительные стартовые карты начинаются с LEO вместо Hand.
    - Information. Информация. Возьмите жетон славы по вашему выбору с карты стороной 1VP вверх.
- d. Конец игры.** Игра заканчивается, когда удаляется последний диск возраста.
- e. Условия победы.** В конце каждой игры Bios (Bios:Genesis, Bios:Meso/MegaFauna, Bios:Origins), каждый игрок получает одну фишку победы (взятую из Bios:Origins) за каждого противника, набравшего меньше ПО в этой игре. Добавьте эти очки к половине вашего конечного результата High Frontier (**M2**), чтобы определить окончательного победителя.
- **Ничья.** Разделите победу, если ничья.
- f. Continuation into Interstellar (3rd edition) completing an *ad astra future* (1D1b).**
- Card Translation.** You may opt to keep any cards you hold for Interstellar. Translate the cards into the closest equivalent 4th edition card.
  - Ad Astra Exit.** If an *ad astra exit* has been used (**1D1b**) at least once in a game, a Sol Exit may be used in Interstellar. For the Jupiter Exit, in order to gather 2 steps of speed the thruster needs to be Operational after the first Belt Roll assuming thrust 0.
  - Starship.** Except for solo play, start with either a random Purple-Side starship or a beehive (Operational TW thruster and promoted Bernal landed on a size 1 Synodic Comet).
  - Futures Rewards .** If you used an *ad astra exit*, draw a random Colonist for each Future accomplished . Additionally : UPLIFT = may start politics at Robot Emancipation . BEEHIVE ARK = quick-start Beehive Ark. STARSHIP (AMMONIA or ENZMANN ) = 2 more Colonists and either 1 factory or 10 fuel steps. PROTIUM = Protium Breakthrough. STAR WISP = free exploration up to 6 ly. EXOPLANET HUNT = free exploration.
  - Fuel.** Translate 1 isotope fuel to 1 fuel step in Interstellar, regardless of spectral type. Do not translate Aqua.
  - Starting Politics** is determined by player color as follows: red = orange, white = upper white, yellow = lower white, purple = red, green = lower green, gray = upper green. The same applies to Crew political affinity.
  - War of Independence** makes the SOS wisp inactive.

**ЛЕГКО ПРОПУСТИТЬ.**  
Выход Оорта  
гарантирует 1 ступень  
межзвездной скорости.  
[V7fii]

viii. **Victory.** Add a victory chit for each victory level you achieve, starting with 1 chit at ZPG. If using Legacy Starshots variant, each next hop gives exactly 1 chit if at Linear Growth level. A final chit is awarded for exiting the map with Humans.

## V8. Bios:Venus, Bios:Mars (by Paweł Garycki)

Вы начали с изначального бульона в (когда-то) обильных океанах Венеры или Марса. Теперь пришло время р асширяться как венерианцы или марсиане в Солнечной системе, пока ваши океаны не высохли. Он содержит дополнительные привилегии, если вы продолжаете кампанию из Bios:Genesis, Bios:Mega fauna и Bios:Origins.

**а. Количество игроков.** с 1 по 4. Для игры в соло используйте *Альтруизм (V4)* или *Генеральный директор (V6)*. Все игроки начинают на одной планете как один и тот же вид.

**б. Подготовка.** Согласно Базовому своду правил **С**, с любыми модулями, кроме модуля 0, со следующими изменениями:

**Диски возраста (C1).** Поместите 4 диска возраста для короткой игры, 5 для промежуточной игры или 7 для Проектов.

• **На накладной карте Земля/Венера** с одной стороны изображена Земля, а с другой — Венера.

Используйте сторону Земли, если в игре нет землян или если вы начинаете игру на Марсе. Используйте сторону Венеры, если в игре нет венерианцев. В любом случае положите эту карту прямо на карту, чтобы покрыть ее планету.

• **Busted (осмотренный).** Для венерианцев aerostat-xity начинается Busted (I5a), и вы не можете получить та м жетон славы. Для марсиан Марс начинается с busted, и вы не можете получить фишку славы ни с од ной и з его площадок или лунолетов. Эти осмотренные места нельзя повторно исследовать с помощью сп ециальных способностей.

**с. Специальные правила.**

• **Ersatz LEO.** Для венерианцев LVO служит LEO для всех целей: хранилище воды (**C5**), место вывода эк ипажа из эксплуатации (**E7**), продажи на свободном рынке (**I3**), место для усиленных карт (**I4**) и взрывы площадки / космический мусор (**K2c**). Но без поясов Ван Аллена нет защиты от солнечных вспышек. Аналогично для марсиан и LMO.

• **Лунный договор.** Если вы начинаете с Марса, слава недоступна на Фобосе или Деймосе, и (модуль 2 ) берналы не могут быть там закреплены.

• **Модуль 2.** Домашние берналы могут быть закорены на (Венера) в 4 ячейках , указанных на накладной ка рте Венеры , или (Марс) Солнце-Марс в точках Лагранжа (L1 , L2 , L5) или Лагранжевом ожоге между мар сианскими спутниками . Обратите внимание, что вокруг Венеры/Марса нет поясов Ван Аллена (VAB), поэ т ому игнорируйте любые специальные правила, связанные с ними. Обратите внимание, что Tourist Cycler по-прежнему дает свою способность. Лунного договора (**2Ba**) нет, поэтому любой игрок может найти Луну.

• **Footfall и New Venus Futures** (модули 1 и 2). Они работают так, как написано, за исключением тог о , что цели меняются местами: Новая Венера теперь становится Новой Землей, а Footfall топчет Венеру/Марс.

• **Космические лифты.** Космические лифты, изображенные на карте на Земле и Марсе, могут быть пос троены только путем привязки GEO Elevator Bernal (2B4i) к домашней орбите GEO (для Земли) или л юбой домашней орбите на Марсе (для Марса).

**д. Конец игры.** Игра заканчивается, когда удаляется последний диск возраста.

**е. Условия победы.** Согласно Базовому своду правил M2. Для межзвездных опций см. V7.

**ф. Правила перехода кампании** с Bios:Genesis на Bios:Meso/Mega fauna. Если макроорганизм-победитель произошел из космического убежища, игра может начаться не на Земле, а на другой планете (в Bios: Genesis могут использоваться ка к правила **K**, так и правила **L**). Выбор планеты зависит от рефугиума: если макроорганизм-победитель Bios:Genesis пришел из космической формы рельефа, начните High Frontier с океанического Марса, если он прибыл из палеоокеан а Марса, начните с океанического Марса, в противном случае начните с океанического Марса или Венеры.

**г. Правила перехода кампании** с Bios:Meso/Mega fauna на Bios:Origins.

i. Инопланетная местность. Ландшафт кратонов Марса и Венеры обрабатывается следующим образом

: • **Бассейн (basin)** рассматривается как море.

• **Возвышенность (highland)** рассматривается как болото, если присутствует архетип зеленого растени я (может размещать неиспользованную нору, чтобы дополнительно указать на это), или иным образом рассматривается как сорняк.

ii. **Климатическая трансформация.** Замените следующие предметы на каждом кратоне в многопользова - тельском режиме пасьянса «Марс»/«Венера»:

• **Горы** (черный диск) -> оранжевый жетон

• **Море** (белый диск) -> голубой жетон

• **Лес** (зеленое растение) -> зеленый жетон

• **Пустошь** (нет зеленого цвета диска) -> белый жетон

iii. **Чужая Америка.** Добавьте два дополнительных кратона Земли в качестве Америки, чтобы сформир - овать континент к западу от кратонов Марса или Венеры. Полностью покройте кратоны Земли случайными фишками местности и примените там фишки климата в соответствии со звездами, набранными игроками.

### РЕКОМЕНДАЦИЯ.

Чтобы Bios:Mega fauna с большей вероятностью продолжилась в Bios: Origins, уберите требование о том, чтобы численность населения превышала предел сердца для выполнения сверхспособности Raindance. [V8f]

## V9. Сирены (by Paweł Garycki and Phil Eklund)

Углеродная жизнь, зародившаяся в сверхкритических алмазных океанах Урана. Поскольку гравитация на поверх - ности Урана примерно такая же, как на Земле, разумные существа, называемые сиренами, нашли решения проб - лемы гравитационного колодца, очень похожие на ускорители на жидком топливе на Земле. как и с земными фракциями, но с корделией луны Урана вместо LEO.

**а. Количество игроков.** 1 или более

**б. Подготовка.** В соответствии с Базовым сводом правил **С**, с любыми модулями, кроме модуля 0, и за исключением следующего:

1 СВЕРХКРИТИЧЕСКИЕ АЛМАЗЫ. Возможно, вы удивлены тем, что сирены подвергаются сокрушительному давлению, образуемому алмазы, когда они ходят по миру с гравитацией 1? Давление является функцией веса столба жидкости над вашей головой, а не силы тяжести на поверхности. Рассмотрим давление в 1000 атм в Марианской впадине, которое также составляет 1 единицу гравитации. Или возьмем миры с гравитацией на поверхности меньше, чем на Земле, такие как Титан и Венера, но и имеющие значительно более высокое атмосферное давление.

**ЛЕГКО ПРОПУСТИТЬ.**  
Вы не можете играть за генерального директора компании Siren. [V9b]

- **Возраст (C1).** Поместите 4 диска возраста для короткой игры, 5 для промежуточной игры или 7 для Проектов.
  - **Земляне (C4).** Все игроки могут быть фракциями «Сирена», или 1 или 2 игрока могут быть фракциями «Земляне». В последнем случае все патентные колоды (и очередь Колонистов) должны быть разделены на две части: одну для землян и одну для сирен. Земляне не имеют доступа к колодам Сирен и наоборот, кроме как во время торговли или переговоров.
  - **Одиночный режим.** Используйте CEO (V6), но разделите колоду патентов между землянами и сиренами в соответствии с предыдущим пунктом, за исключением того, что сирены получают все патенты D и V, а земляне — остальные. Очередь колонистов остается разделенной наполовину для землян и наполовину для сирен.
    - *Торговля.* Если вы приземлили человека на любую луну D или V в Системе Урана, вы можете перевернуть любую белую патентную карту в посадочной стопке ее черной стороной.
    - *Первый контакт.* Вы автоматически достигаете порога KPI доски во время солнечного цикла, когда ваши люди впервые приземляются на спутнике Урана (открывая сирениан).
  - **Разоренный.** Поместите диски Busted Claims на Luna, Uranus Aerostat и Cordelia, которые не принесли славы их родным видам и не могут быть повторно разведаны с помощью специальных Способностей.
- с. Специальные правила.** Применяются следующие специальные правила:
- **Исследовательская аукционная операция (I2).** Если вы единственный игрок своего вида и только у вас есть доступ к колоде патентов вашего вида, вы не проводите аукционы. Вместо этого используйте V4c (специальное правило).
  - **Корделия.** Для сирен эта внутренняя луна Урана действует как LEO для всех целей: хранилище воды (C5), место вывода экипажа из эксплуатации (E7), продажи на свободном рынке (I3), место для усиленных карт (I4) и взрывы площадок / космос. обломки (K2c). Вы не можете подобрать славу (L) на Корделии или аэростате Урана.
  - **Бриллианты не вечны.** 2 Сиренская команда и колонисты из очереди на сирен (далее именуемые «СИРЕНЫ») считаются радиационноустойчивыми 0. Если стек с сиренами терпит сбой, ничего не происходит, если стек находится на каком-то месте (site), и Сирены выводятся из эксплуатации, если стек находится в космосе.
  - **Героизм (Lc).** При игре с Землянами, если Люди и Сирены впервые встречаются в конце Хода, дайте игроку, чей ход выпал на одну из фишек героизма (C7). И сирены, и люди могут претендовать на славу.
  - **Технология Торговли.** Если вы землянин, вы можете взять в руку одну карту с верха патентной колоды сирен, если в конце вашего хода один из ваших людей находится рядом с сиреной. То же самое верно, если вы Сирена и заканчиваете свой Ход рядом с Человеком.
  - **Колонии продвижения (Promotion Colonies)** (модули 1 или 2). Независимо от значка купола, карты сирен можно продвигать только в отталкивающих колониях (2A3a) или продвигать и закреплять берналы (2A3c) (представляя их потребность войти во внутреннюю солнечную систему, чтобы удовлетворить свои потребности в солнечной энергии).
  - **Берналы сирен.** Возможные Домашние Орбиты указаны на карте, и любой Бернал может выйти на любую Домашнюю Орбиту. Их гидратация на грязной стороне не равна шести, а вместо этого зависит от гидратации лун, к которым они примыкают. Cycler Bernal обеспечивает безопасный проход через радиационный пояс «мю пылевое кольцо». Uranus Elevator можно построить, только привязав GEO Elevator Bernal к любой Домашней орбите (2B4i).
  - **Footfall Future (1D5f)** может быть направлен либо на Землю, либо на Уран, что удаляет из игры либо землян, либо сирен. Если выживает более 1 фракции, они продолжают Войну за независимость.
- d. Конец игры.** Игра заканчивается, когда удаляется последний диск старшинства.
- e. Условия победы.** Согласно Базовому своду правил M2, за исключением того, что бонус ПО (M2b) для куполов сирен составляет +3, если они находятся в (Push Colonies) толкающих колониях (солнечная энергия важна для сирен) или аэростатов, и +1, если где-либо еще (включая Берналов).

## V10. Красный Гигант<sup>3</sup>(by Phil Eklund)

После долгого (!) и умирающего темного века земные астрономы нашего будущего вида с опозданием обнаруживают, что Солнце вот-вот вспыхнет и превратится в красного гиганта. Это превратит Землю в пепел и сделает внутреннюю Солнечную систему непригодной для жизни. Чтобы пережить этот кризис, фракции готовятся колонизировать внешнюю Солнечную систему, которая затем станет обитаемой.

- a. Количество игроков:** 2 или более
- b. Подготовка:** согласно Базовому своду правил С с любыми модулями
- с. Особые правила:** применяются следующие правила:
- **Высыхание (B7a).** Все Зоны, за исключением тех, что находятся в зонах Урана и Нептуна, имеют на одну гидратацию меньше (минимум до нуля) из-за солнечного нагрева.
  - **Яркое солнце будущего (H3c).** Как ни странно, по мере того, как Солнце сжигает свое ядерное топливо, оно становится ярче. Добавьте +2 к модификатору солнечной тяги каждой гелиоцентрической зоны (включая Нептун). Карты, ограниченные заданными гелиоцентрическими зонами, могут сделать ее на 2 зоны дальше.
  - **Война за независимость (War of Independence)** (см. глоссарий) разразится в конце 2-го солнечного цикла. Она представляет собой крах правительств Земли.
- d. Конец игры:** согласно Базовому своду правил M1.
- e. Условия победы:** согласно Базовому своду правил M2, со следующими исключениями:
- Очки победы не начисляются за славу, жетоны, курсы продаж или гидратацию планетарных фабрик, за исключением мест в пределах зоны Урана или за ее пределами.

<sup>2</sup> АЛМАЗЫ представляют собой квазистабильную кристаллическую форму углерода. Не вопреки Джеймсу Бонду, но драгоценный камень в кольце с бриллиантом в конечном итоге станет черным, когда он превратится в свою стабильную форму: аморфный графит. Стабильность сверхкритических алмазов неизвестна. Состоящие из сверхкритических алмазных элементов, Сирены сверхчувствительны к радиации.

<sup>3</sup> КРАСНЫЙ ГИГАНТ. Солнце превратится в красного гиганта через 5 миллиардов лет. По мере нагревания Земля может стать копией Венеры, поскольку ее океаны испаряются, а углерод, запертый в известняках и других карбонатах, высвобождается.

## V11. Бриллианты для всех (by Jon Manker and Paweł Garycki)

Вы боретесь за разработку ракет и путешествуете по уголкам нашей солнечной системы, чтобы строить фабрики и колонии. Однако по пути вы натываетесь на большее количество богатств, чем ожидали, что может повлиять на исход игры.

- a. **Количество игроков:** 1 или больше, в режиме соревнования или кооператива зависимость и от используемых правил.
  - b. **Подготовка:** согласно Базовому своду правил С с любыми модулями за исключением:
    - Раздайте каждому игроку по 1 парусной и 1 ракетной миссии
    - Разместите жетоны открытий либо в соответствии с (iC2b) на Местах в 5 самых внутренних гелиоце н трических зонах (включая Цереру?), либо добавив жетоны в любые зоны следующим образом:
      - Смешайте все жетоны открытий лицевой стороной вниз (спектральной стороной вверх).
      - Размещение. Все игроки одновременно размещают фишки (не смотря их) на любой Участок с и к онками (Астробиология, Атмосфера, Толчок, Подводная лодка). Когда они заполнены, они за п няют участки без символов.
      - Игроки могут использовать только 1 руку и брать фишки по одной. Они должны разместить захвачен ную фишку на действующем Месте, прежде чем захватить другую.
      - Темные Места. После размещения всех фишек D можно разместить фишки M или S на местах D.
  - c. **Толкование конкретных карт миссий:**
    - **Расходный материал** в красной рубашке: вы провалили бросок опасности и таким образом списали парус.
    - **Завершение:** получите 10 ПО за это задание, если играете в Industrial Diamonds (V11f).
    - **Emergency Eminence:** вместо этого первым выполните операцию «Заправка Пожирателя воздуха» в течение 3 ходов подряд.
    - Double Messenger, Space Maze Ace: вычитите 2 из каждого броска на обнаружение необходимых мест, если играете в Industrial Diamonds (V11f).
    - **Звоните в мой звонок:** станьте первым, кто использовал облеты Сатурна и Урана.
    - Мы выбираем делать это, потому что это сложно: при использовании Модуля 1 выполнение ad astra future (1D1b) на выходе Солнце-Юпитер-Солнце удовлетворяет требованиям этой миссии.
    - Эгир в космосе: на борту вашей ракеты должно быть больше всего ступеней топлива. При использовании Модуля 1 это этапы изотопного топлива.
  - d. **Геймплей.**
    - **Открытие бесплатного действия.** Чтобы получить жетон обнаружения, ваши совместно расположенные люди должны выполнить бесплатное действие обнаружения (G), находясь на Зоне. Бросьте кубик и вычитите:
      - По 2 за каждую иконку на Месте (Астробиология, Атмосферная, Толкающая, Подводная).
      - 1, если на Месте присутствует один или несколько исправных багги. На подводных базах вычитите 1 за каждый исправный багги.
      - 1 за каждого колокейшн-колониста в выступающем стеке.
- Возьмите жетон открытия, если выпало 0 или меньше, или выбросьте его из игры, если выпало иное.
- **Discovery Chits** несутся стопками, как и FT, с массой, равной количеству выпадений на них. Только Стек, несущий фишку, может использовать свою Способность.
  - **Raagun Discovery** (свободное действие). Если у вас есть действующий лучевое оружие, примыкающий к Месту с жетоном обнаружения, в качестве бесплатного действия вы можете исследовать его тайно. Во время движения это невозможно.
  - **Всем известный факт.** Каждый может изучить любое место, покрытое фишкой обнаружения, не глядя на ее фишку.
- e. **Конец игры.** В соответствии с основным сводом правил M + любой сценарий + любые модули, которые вы предпочитаете использовать.
  - f. **Подсчет очков** в соответствии с Базовым сводом правил M + любой сценарий + любые модули, которые вы предпочитаете использовать, за исключением того, что не начисляются ПО за жетоны (M2a) или заводские цены на акции (M2b), а жетоны славы приносят двойную ценность.
  - g. Подсчет очков в "промышленных бриллиантах" (вариант, более близкий к основной игре) в соответствии с основным сводом правил M + любой сценарий + любые используемые модули. Жетоны Life, Gems и Industrial Discovery приносят VP только на LEO или в вашем Anchored Bernal. Все остальные фишки открытия засчитываются, если они находятся в любой из ваших стопок.

**1 ПРИМЕЧАНИЯ ПО СТРАТЕГИИ:** Эта игра о завоевании славы и сборе жетонов открытий. Претензии и Фабрики — это всего лишь средство для доставки Бригады во все более отдаленные места, где можно получить жетоны славы, и возврата их в LEO. Не забывайте, что производство инопланетян часто может производить технологию, необходимые для получения этих наград. [V11]

**1 СТРАТЕГИЧЕСКИЕ ПРИМЕЧАНИЯ ДЛЯ ВАРИАНТА С ПРОМЫШЛЕННЫМИ АЛМАЗАМИ:** Поскольку фишки для открытий являются приятным дополнением, а не основной темой, стремитесь к исследованию, когда вы хорошо подготовлены, с хорошими черными или фиолетовыми картами, лучевой пушкой и/или багги и колонистами. Перспективы лучше всего на сайтах с большим количеством значков. При правильном размещении (помните правил о темных местах) вы получите 2 фишки (M и/или S), которые нужно разместить на местах без символов, например. Гермес или Ариадна упоминаются на карточках миссий. [V11]

## V12. Сценарий Панспермии (by Paweł Garycki)

Жизнь зародилась в Солнечной системе, но распространилась по разным мирам. Какой-то неизвестный принц ип Златовласки заставил несколько форм одновременно развить сознание и стать космическими путешественниками.

- a. **Количество игроков.** 2 или 4. Выберите 2 вида из списка ниже и используйте их родной мир и низкую орбиту. Выберите для них карту/цвет экипажа. Игра идет лучше всего, если есть 2 игрока на вид.
- b. **Подготовка землян.** См. V9b.
- c. **Подготовка марсиан.** Обращайтесь как с землянами выше (V9b), но используйте V8 для шагов настройки, касающихся начального местоположения и специальных правил, не противоречащих V9b.
- d. **Подготовка венерианцев.** То же, что марсиане выше.
- e. **Подготовка сирен.** См. V9.
- f. **Настройка Океанцев**
  - Домашний мир Европа. Используйте его радиационный пояс в качестве низкоорбитальных и юпитерианских пространств L2/L1 для Берналов. Susler обеспечивает безопасный проход через юпитерианские радиационные пояса.
  - Экипаж Океанцев имеет массу 2 (крупные пловцы) и может приземляться на участках, прилегающих к гейзеру, без необходимости чистой тяги.
  - Все символы колоний для Океанцев - это подводная лодка и аэростат, заменяющие оригинальные значки купола. Они работают только в зоне Нептуна плюс все аэростаты. Для гидратации на грунтовой поверхности считайте только гидратацию на подводных площадках, но добавьте 2. Гидратация на домашней орбите остается равной 6.
- g. **Настройка Толианцев.**
  - Родной мир Титан. Используйте LTO в качестве низкой орбиты и L1/L5 (кроме самого внутреннего и самого внешнего L1) сатурнианских пространств для Берналов. Susler обеспечивает безопасный проход через все радиационные пояса в системе Сатурна, а также через кольца. Используйте соглашение о мунлетах (V8c) для Гипериона.

- Толианская команда и колонисты. При разведке команда Толиан и колонисты делают «бросок на гидратацию» вместо «Бросок на размер», который считается успешным, если они делают бросок меньше или равен гидратации Зоны.
- Значки колоний повышения имеют атмосферный вид и заменяют оригинальные значки куполов. Тритон и Плутон также считаются имеющими следы атмосфер. Лаборатории Сатурна и Марса работают, только если их лифт построен первым.

#### h. Подготовка Нуклеев.

- Домашний мир Би-Зед. Этот астероид не является синодической кометой в этом варианте. Используйте его красное поле в качестве низкой орбиты, а первые 6 сжиганий - в качестве мест для Берналов. Циклер работает с радиационными поясами Юпитера. Все затраты на ускорение уменьшаются вдвое (округляются в большую сторону).
  - Команда Нуклеев и Колонистов имеют массу 0. Проверки размера для Nuclei Crew и Colonists автоматически успешны для Synodic Comets. Из-за низкой гравитации Нуклеи могут запровадить 7 ступеней воды на Домашней орбите, как если бы там была фабрика, однако они не могут конвертировать FT или топливные ступени в Воду.
  - Значки колоний продвижения относятся к астробиологии и заменяют оригинальные значки куполов.
- i. **Специальные правила.** Для этого сценария используйте правила из Sirens (V9), а также следующее:
- Все Места в домашнем мире начинаются с осматривания, чтобы указать, что они изначально заселены. Жетоны славы не могут быть подобраны там их обитателями.
  - **Земля.** Если в игре нет Землян, используйте накладку Земли (V8b).
- j. **Конец игры.** Игра заканчивается, когда удаляется последний диск возраста.
- k. **Условия победы.** Океанцы, толианцы и Нуклеи засчитывают ПО так же, как и Сирены (V9e).

## W. Помощь по стратегии

### W1. Базовая игра (by Chad Marlett & Eric Schiedler)

Понятия, которыми следует руководствоваться при выборе стратегии, которые могут быть непонятны при беглом прочтении свода правил:

#### 🔴 СТРАТЕГИЯ

> Юпитер и Сатурн более доступны, чем можно ожидать

> Марс — ловушка (за исключением случаев, когда это не так. Подумайте о строительстве космического лифта «Фобос»).

> Церера — ловушка (даже если вы думаете, что нет). Попробуйте Гигею.

> С-места не так хороши, как могут показаться.

> Х-реакторы — отстой, а метастабильный гелий — ваш билет к рассеиванию гелия по всему поясу Ван Аллена.

> Луна принадлежит Китаю.

> Даже у «плохих» комбо есть свои 15 минут славы.

> Стремитесь к своей чрезвычайно долгосрочной цели, а не к карточкам, которые у вас есть прямо сейчас.

> Будьте готовы очень быстро переключиться на новый экстремально долгосрочный план.

#### a. Робонавты/ISRU. Часто ваш первый робонавт определяет вашу стратегию.

- **Ракетные робонавты** относятся к ISRU 2 или 3, и все они действуют как неэффективные двигатели. Он и лучше всего подходит для участков размера 3+ с двумя или тремя каплями воды. Многие двигатели экипажа могут приземлиться на Луне, но у них нет необходимого ISRU для разведки. У 5\*4 двигателей/робонавтов есть хорошие цели в Герте, Лютеции, Эйхфельдии и Минерве.
- **Робонавты-баги** необходимы для изолированных зон размера 1 и полезны для захвата нескольких зон на Марсе или любого из галилеевых спутников Юпитера.
- **Робонавты Raugun** обладают самой высокой массой, но они являются аппаратами для доступа к астероидам и не должны приземляться для разведки (если в Зоне нет атмосферы). Один робонавт с лучевой пушкой имеет единственный рейтинг ISRU 1, который можно найти на любой из белых карточек.

#### b. Двигатели. Получите двигатель, соответствующий вашему робонавту, и помните, что вам не нужен двигатель, если у вас есть приличный ракетный робонавт. Двигатель 2\*2, пожалуй, лучший в игре. 3\*1 и 5\*1 еще бо лее полезны, но их поддержка (генератор импульсов и х-реактор) встречается редко. Также остерегайтесь 0 радиационной стойкости на 5\*1. Ракета на твердом топливе 4\*3 также нуждается в генераторе импульсов, но если вы можете обеспечить достаточное количество топлива для 2 областей сжигания, необходимых для дозаправки на Деймосе, она может быстро заправиться и отправиться практически в любой маленький мир. Паруса 0\*0 и солнечный двигатель 3\*4 полезны для быстрых перемещений во внутренних Местах (например, на Марсе), но имеют ограниченное применение в более поздней игре. Электрические ракеты 3\*2 и 4\*2 хороши, если их опоры не слишком тяжелые. 4\*3, 5\*4 и 6\*5 — это пожиратели топлива, но они полезны для более крупных целей с точкой сжигания топлива.

#### c. Фабрики. Попробуйте использовать свой завод с черной стороны для своей второй миссии, но обратит е внимание, что там нет заводов спектрального типа С.

#### d. Экипаж. Экипаж с двигателями может отправиться за славой или досрочно претендовать на Марс — или на Лун у с робонавтом ISRU 1. Все их рейтинги ISRU плохие, поэтому можно претендовать только на некоторые участки. Вы можете написать бригаду на фабрике, чтобы сформировать колонию за победные очки — единственная поездка в один конец, которую вы действительно можете спланировать с экипажем, кроме и грока Taikonaut. Обратите внимание, что Taikonaut должны присутствовать на прыжке с требованием (G4), а команды других игроков могут этому помешать. Двигатели экипажа не могут приземляться или взлетать на больших площадках, если они несут слишком большую массу, потому что за траты топлива на сжигание посадочного модуля непомерно высоки. Большие ракетные стеки имеют чистый штраф за тягу из-за весовой категории.

#### e. Аэродинамическое торможение. Не забывайте, что для приземления после аэродинамического торможения вам не нужно соответствовать требованиям Зоны к минимальной тяге. Конечно, взлететь снова — это уже другая история.

#### f. Отказ не вариант. Как и во многих играх, стратегия с небольшой степенью риска имеет больше шансов на победу, чем консервативная стратегия, которая не несет риска. Тем не менее, даже если бросок «1» кажется маловероятным, вы должны перестраховаться, если у вас много работы на миссии.

#### g. Не летайте во время красного сезона, если вы не можете добраться до места или планетарного радиационного пояса.

#### h. Магнитный парус (но не другие продвинутые паруса) получает +1 Bonus Burn, если он пролетает через каждую радиационную опасность! Это создает мощный Парус на более поздних этапах игры. Это делает очень приятным путешествие на Меркурий с Экипажем.

#### i. Модификаторы двигателей, НЕ применяются, если карта двигателя не нуждается в них в качестве поддержки. В том числе паруса. Правила посадки (H6a) позволяют вам лететь к далеким пунктам назначения, таким как Церера или Каллисто, с помощью основного двигателя, а затем переключаться на более мощный двигатель (например, экипаж), чтобы приземлиться.

#### j. Радиационный пояс выживания. Если у вас груз с низким содержанием радиации, вам нужно будет быстро пройти через пояса Ван Аллена с высокой чистой тягой (которая вычитается из Belt Roll). Один из способов сделать это — использовать двигатели вашего экипажа. Остановитесь в космосе прямо перед радиационным поясом, затем на следующем ходу активируйте двигатели экипажа и войдите в пояс. Обратите внимание, что топливо не расходуется до тех пор, пока вы не входите в режим горения. Это связано с тем, что двигатели включаются только на те минуты, которые необходимы для безопасного прохождения пояса.

#### k. LEO к поясу астероидов за 2 сжигания. Некоторые зонды НАСА направляются к самым отдаленным частям Солнечной системы (например, Кассини), по-видимому, начинают в неправильном направлении, направляясь внутрь к Солнцу для облета Венеры, а затем облета Земли.



Это может быть случайно продублировано в игре: с LEO пролетите через циклер, а GEO сожжет, чтобы достичь облета Венеры. С этого момента это игра в межпланетный пинг-понг, когда вы совершаете облеты Меркурия, Земли и Луны, используя бонусные сжигания, чтобы долететь до пояса астероидов, используя столько же сжиганий, сколько приземлится на Луне. У этого есть ограничения: облет Венеры доступен только в зимнем сезоне, и нужно пережить много солнечных перекатов пояса.

#### 🔥 СТРАТЕГИЯ

> Не ждите идеальной комбинации; время = Вода.

> Не забудьте улучшить свои лучшие карты до черной стороны

> Места С подобны тренировочным колесам: отлично подходят для нескольких карт, меняющих правила игры (например, робонавта ISRU 0 для Венеры, ультрахолодных нейтронов для вашего метастабильного двигателя). Но на одном С далеко не уедешь.

> V Фабрики сложны. Если у Вас есть робонавт ISRU 2, хорошо, двигайтесь к Весте. Если 3 или 4, то Ваши цели находятся далеко (Уран) или в глубоких гравитационных колодцах (Каллисто, Ганимед, Меркурий, Титан).

> S-фабрикам требуется мощный двигатель и достаточно топлива, чтобы добраться до Ганимеда/Европы. В качестве альтернативы, попытайтесь счастья в скоплениях Карин, сатурнианских троянках Дионы/Тетии или (если у вас есть робонавт ISRU 1) различных сухих астероидах, таких как флора или клеопатра.

> Избегайте поддержки солнечной энергии, потому что в долгосрочной перспективе многие Проекты ведут вас на Нептун или дальше, где они бесполезны.

## W2. Сокращение времени цикла миссии (by Eric Schiedler)

- 1. Сокращение времени цикла миссии.** Выполняйте миссии (успешно или нет) как можно быстрее. Практически не имеет значения, что это за миссии. Вы не можете получить ничего полезного, чтобы продвигаться по победным очкам или на более поздних этапах игры, пока не завершите миссию. У вас может быть только одна миссия с одним ракетным стеком. Другие игроки делают то же самое, пытаются выполнить следующую миссию со стартовой площадки. Ваши решения должны быть направлены на то, чтобы свести это время между миссиями к минимуму. Один из ключевых способов сделать это — убедиться, что вы можете на инопланетных колониях производить (18) своего робонавта и фабрики в относительной близости — либо потому, что они относятся к одному и тому же спектральному классу, либо потому, что они могут быть произведены двумя Зонами на одной луне или двумя астероидами в одном семействе.
- 2. Найдите источники дохода.** Исследования (12), а затем продажа карточек — эффективный источник дохода. Еще эффективнее проводить исследования, чем позволить другим игрокам выиграть аукцион, потому что тогда вы не раздуваете свою руку и не должны тратить Операции, очищая свою руку от лишних карт позже. Однако это довольно ситуативно, так как не существует единственно верного способа получить максимальный доход. (Jeffrey Chamberlain)
- 3. Получение бесплатных операций.** Если я покупаю на исследовательском аукционе, инициированном другим игроком, я избавляюсь от необходимости использовать Операцию. Если игрок продает мне патентную карту, я избавился от необходимости использовать Операцию. Если игрок продает мне Стекло воды на Фабрике, я сохраняю несколько Операций заправки. Ищите бесплатные Операции, так как они напрямую сокращают важнейшее время цикла миссии.
- 4. Имейте план с Черной Стороной карт.** Если вы запустите одну или две Фабрики и будете знать, какую черную карту вы будете на них производить, вы сокрушите своих противников. Черные карты сильны, но не тогда, когда они просто лежат там — вам нужен план, чтобы действительно их использовать. Я хочу отметить, что гораздо важнее иметь сокрушительный план для ваших черных карт и реализовать этот план, чем беспокоиться о том, сколько победных очков будут стоить ваши Фабрики в конце игры. Конечная стоимость победных очков слишком сильно зависит от действий других игроков и случайных событий. Превратите свои удивительные черные карты в твердые победные очки от космических приключений, которые не потеряют свою ценность.
- 5. Используйте вывод из эксплуатации,** чтобы сделать миссии выполнимыми. Поскольку Списание является бесплатным действием, не все должно совершать полный путь (как в одну сторону, так и туда и обратно). Сбросьте массу, когда сможете! Планируйте отказаться от Массы и Топлива! Используйте несколько двигателей, чтобы смешивать эффекты массы / топлива! Вы даже можете выбросить все, кроме двигателя и карты экипажа. Пока они возвращаются домой, вы можете планировать следующую миссию.
- 6. Запустите маленькую миссию,** планируя большую. Ракетный стек из двух карт может сделать что угодно! Эффективный двигатель и карта экипажа могут попытаться получить очки славы. Это не всегда эффективная стратегия, если вы собираетесь начать миссию или планируете миссию среднего размера. Но если вы думаете построить гигантский ракетный стек, чтобы захватить, например, Сатурн или Юпитер, у вас будет время, чтобы выполнить небольшую миссию.
- 7. Научитесь использовать имеющиеся у вас патенты;** не влюбляйтесь в карту или миссию. Ни одна карта не подходит для каждой миссии. Не всякая миссия должна быть большой; это зависит от стадии игры. Ни одна карта не является потрясающей, если она не сочетается с другой картой. Ни одна покупка не поможет вам пройти всю игру. Космические приключения требуют нескольких (или огромных) миссий, так что работайте над ними в зависимости от хода игры.
- 8. Не бойтесь заключать сделки.** Как часто вы отчаянно нуждались в том, чтобы ваш корабль получил еще одну тягу для Поворота? Заключите сделку с ESA, и вы ее получите. Нужен робонавт, питающийся экзотикой и массой ровно 1? Поговорите с Shimizu, у них, вероятно, что-то хранится в их базах данных. Нужны деньги сейчас для загрузки этого программного обеспечения? Кажется, у НАСА всегда есть лишние деньги.

## W3. Часто задаваемые вопросы (by Joe Schlimgen)

**В1: Чтобы построить Фабрику, нужно ли списывать карты с буквами продуктов, которые соответствуют букве Места?**

**О:** Нет. Буквы продуктов фабрик, робонавта и карты поддержки выведенных из эксплуатации для индустриализации (17) не имеют значения. Например, в базовой игре вы можете построить Фабрику в мире типа «М», выведя из эксплуатации завод по переработке базальтового волокна (тип «S») и комар-робонавта t (тип «V»). Однако карта, которую вы выбираете в качестве продукта Фабрики, должна иметь букву продукта, соответствующую Спектральному типу Места.

**В2: Как мне выполнить лунную миссию в стиле Аполлона?**

**О:** У НАСА есть две цели миссии: посадить робонавта на Луну в качестве основания для будущей Фабрики и вернуть астронавтов для получения славы.

**Год 1:** Запуск Лунной миссии. После многих лет исследований НАСА платит 6 Воды за запуск двигателя Re solar moth (мощность 3•4, масса = 0), робота-робонавта с лазером на свободных электронах (ISRU = 1, масса = 2), генератора конденсаторной батареи Маркса (масса = 1) и радиоизотопный генератор Стирлинга (масса 3). Два генератора обеспечивают импульсную поддержку, необходимую робонавту. После ускорения к оборудованию присоединяется экипаж космонавтов (масса = 1). Он помещает Фигурку Ракеты на LEO и синюю жетон Сухой Массы на цифру «7». Он тратит 10 Воды, чтобы добавить 10 баков Топлива, перемещая метку мокрой массы на 17. Теперь это «класс буксира» (модификатор весовой категории - 2).

**Год 1 (продолжение):** Предлунное движение. Ракета использует 4 ступени топлива, чтобы выйти на орбиту земного цикла. Ей разрешено добраться до радиационного пояса Ван Аллена, но он не в состоянии, поскольку его чистая тяга настолько мала, что неудачный бросок может вывести из строя его генераторы, команду и лазер. Его Wet Mass теперь равен 13, «транспортный класс» (модификатор весовой категории -1).

**Год 2:** Лунная посадка. НАСА активирует двигатели экипажа на жидком топливе (мощность 14•8), и в его весовой категории чистая тяга составляет 13, что достаточно для безопасного пересечения радиационного пояса. Он также больше, чем размер Луны, что позволяет совершить посадку с двигателем (Н6а) на полярном кольце Шеклтона (гидратация = 1). Во время разведки (I6) робонавт НАСА заявляет право на Луну (разведка автоматически успешна, учитывая размер Луны, а лазерный робонавт находится в рабочем состоянии и имеет IRSU 1). Кроме того, астронавты получают жетон славы земной зоны.

**Год 3:** Заправка ISRU. В качестве свободного действия по перемещению груза стек разделен на 2 стека: ракетный стек, содержащий только экипаж, и стек аванпоста №1, содержащий двигатель, робонавта и 2 генератора. Метки Wet и Dry Mass перемещены на 1, Mass of the Crew. Чтобы получить топливо для обратного пути, робонавт тратит год на выкапывание реголита и выдавливание воды по капле, перемещая метку полной массы на один шаг (с 1 на 2).

**Год 4:** Возвращение. Ракета имеет полную массу 2, что является «классом зонда» (модификатор весовой категории +1). 14•8 двигателей экипажа форсированы до чистой тяги 15, что более чем достаточно, чтобы запустить двигатель через посадочный модуль и безопасно добраться до радиационного пояса. При сжигании посадочного модуля расходуется восемь ступеней топлива, остается только 1/9 бака. Этого недостаточно для входа в суглер Випп, поэтому Экипаж использует аэродинамическое торможение «кратчайшим путем» на НОО. Предполагая, что их парашют раскроется правильно, Экипаж входит в НОО. Часть топлива теряется. Жетон славы переворачивается на сторону с 2 ПО.

**Год 5:** Следующая миссия. НАСА планирует свою следующую миссию, отправив фабрику на Луну. Вместе с уже работающим робонавтом операция по промышленному производству создает фабрику S в кратере Шеклтона.

### **В3: Насколько реально приземлиться без топлива?**

**О:** Топливо для посадки вам понадобится всегда, но для маленьких миров его количество незначительно в масштабах игры. Самый большой астероид, на который вы можете приземлиться без посадочного модуля, имеет размер 5, например, Психея с гравитацией на поверхности  $0,06 \text{ м/с}^2$  и скоростью убегания  $0,13 \text{ км/с}$ . Сколько топлива нужно, чтобы посадить Сухую Массу = 5 с Ракетой  $10 \cdot 8$  со скоростью истечения  $4,5 \text{ км/сек}$  на Психею? Используя уравнение ракеты: Полная масса = Сухая масса, умноженная на  $e^{\Delta v / \text{скорость выхлопа}}$  =  $5 \cdot e^{(0,13/4,5)} = 5,15$ . Таким образом, необходимое количество топлива составляет  $5,15 - 5 = 0,15$  бака. Что намного меньше одной ступени топлива.

### **В4: Что такое the Solar Oberth?**

**О:** Правила пролета аппроксимируют ДВА эффекта: гравитационную рогатку и эффект Оберта. (Вы должны любить этих сумасшедших немецких ученых. Спасибо переписке по электронной почте с профессором Натаном Стрэнджем из НАСА за описание обоих эффектов).

Эффект пролета описывает передачу импульса между космическим кораблем и планетой (как наиболее полезный пример с точки зрения игры). Например, проходя перед приближающейся планетой, планета может ускориться, а космический корабль замедлится, сохраняя импульс. Эта «гравитационная рогатка» не зависит от ракетного двигателя, поэтому она работает для безмоторных или баллистических транспортных средств. Также обратите внимание, что эта рогатка не помогает космическому кораблю относительно гравитационного поля планеты, используемой в рогатке. Орбит Земли не поможет вам попасть в поле Земли. В общем, использование Солнца в качестве рогатки полезно только для вылета из Солнечной системы.

Но второй эффект, эффект Оберта, описывает ситуацию, если человек приближается к планете, а не дальше. Это потому, что если вы сбрасываете топливо, выбрасывая его, вы получаете преимущество в энергии, если вы выбрасываете его на малых высотах, а не на больших. Чтобы провести земную аналогию, предположим, что вы находитесь у подножия горы, на которую вам нужно взобраться. Вы везете литр воды. Выпить его следует перед поездкой, на самой низкой высоте, и пропотеть во время подъема, а не тащить его на вершину, а потом пить.

Множитель Оберта не нарушает закон сохранения энергии. Помните, что всякий раз, когда ваша ракета толкается выбрасываемым топливом, часть энергии уходит на движение ракеты, а остальная часть — на перемещение топлива. (У пловцов та же проблема: они тратят столько же энергии на движение воды назад, сколько и на движение пловца вперед. У бегунов все легко, прямая передача импульса относительно планеты Земля.) Если вы толкаете ракету в периферии, больше энергии уходит на перемещение ракеты и меньше затрачивается на перемещение топлива.

Множитель дельта-v Оберта равен квадратному корню из единицы плюс удвоенная скорость убегания, деленная на горение дельта-v. Таким образом, эффект наиболее эффективен, при использовании ракет с химическими двигателями, чуть менее — для электрических двигателей и бесполезен для парусов и баллистических кораблей.

The Solar Oberth, как отмечено на карте, проведет вас через 5 точек сжиганий (burns) и позволит вам выстрелить из рогатки, равной вашей немодифицированной тяге (плюс один, если вы используете форсаж (afterburn)). Скорость убегания от Солнца в этом районе составляет  $68 \text{ км/сек}$ , так что множитель достигает  $3,4$  для космического корабля с тягой 6, способного выполнять эти сжигания своевременно. Это сравнимо с чистой ценностью игры  $6 - 2 = 4$  (два ожога теряются при выходе из региона The Solar Oberth).

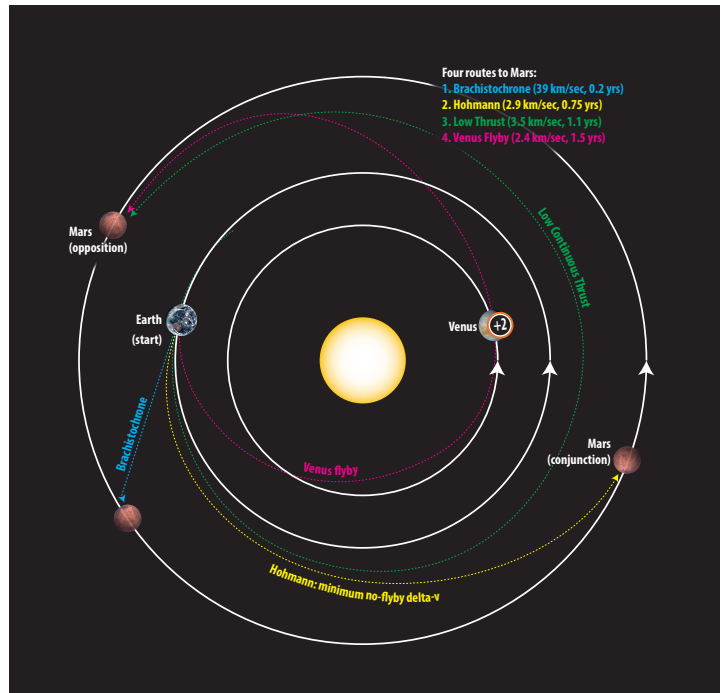
## В5: Почему планеты статичны?

**О:** Частичный ответ заключается в том, что для карты потенциальной энергии Солнца выравнивание не имеет значения для почти круговых орбит, а только расстояние от Солнца. Только для комет с большим эксцентриситетом, таких как кометы Галлея, я ввожу в игру синодические выравнивания (т. е. окна запуска).

Другая причина заключается в том, что для ракет с малым расходом топлива (к этому классу относится большинство игр вых конструкций) разница в энергии между худшим и лучшим синодическими позициями составляет менее 15%. Только для ракет с высоким расходом топлива и мизерной дельта- $v$  (то есть для всех миссий НАСА до «Рассвета») такой небесный бильярд становится значительным.

Но главная причина отсутствия движущихся планет заключается в том, что если вы начинаете с НОО и идете ко всем пунктам назначения, кроме Марса, ваше ожидание идеальной астрологии (т. е. планетарного выравнивания) меньше года. Если вы отправляетесь в более низкое место назначения, такое как Меркурий, и расположение планет оказывается наихудшим из возможных, просто подождите половину меркурианского года (44 дня), и все будет идеально. Если вы отправляетесь на медленную планету — вроде Сатурна, которая практически «фиксирована» в своем положении — и снова, если ваша астрология наихудшая из возможных, подождите половину земного года, и все будет прекрасно.

Справа показаны четыре маршрута с Земли на Марс. Самая короткая (синяя) — это брахистохрона, представляющая собой прямую линию, которую можно провести, направив сопло на Солнце и толкая ровно столько, чтобы сбалансировать свой вес. Таким образом, игнорирую солнечную гравитацию, вы летите по прямой в течение 2 месяцев со скоростью 30 км/сек (орбитальная скорость Земли).



Для подобной «левитации» требуется дельта- $v$  16 км/сек, плюс еще импульс 23 км/сек для выхода на гелиоцентрическую круговую орбиту на расстоянии Марса. Следующим самым быстрым показанным (желтым) является переход Хомана с высокими импульсами тяги в начале и в конце 9-месячного перелета. Это также самая низкая дельта- $v$ , если не учитывать никаких источников гравитации, кроме Солнца. Обратите внимание, что вопреки интуиции этот маршрут с наименьшей энергией происходит, когда две планеты находятся дальше всего друг от друга. Зеленый маршрут показывает полет на ракете или парусе с малой тягой, которая ускоряется в первой половине и замедляется во второй. Последний полет (розовая траектория) сначала идет внутрь, за счет гравитации Венеры, прежде чем полететь на Марс.

## В6: У меня грузовой корабль «только с заводской загрузкой» (factory loading only) и мой экипаж на НОО. Что мешает экипажу запрыгнуть на борт и полететь к моему аванпосту в космосе?

**О:** Чтобы упростить игру, грузовые суда не отслеживают количество воды. Тем не менее, грузовые корабли «только с заводской загрузкой» очень низкотехнологичны (например, один из них представляет собой просто надутый воздушный шар), с удельным импульсом всего 0,19 кг, и, соответственно, им потребуется много водяного топлива. Если ваш аванпост находится в 4 точках сжигания, то вашему грузовому воздушному шару потребуется 84 единицы массы воды. Это не проблема на заводе, где вода дешевая. Но это запрещено на НОО, где вода очень востребована.

## В7: Почему вы не включили Эриду?

**О:** Внешняя Солнечная система — это регион огромных расстояний, слишком большой, чтобы воссоздать его целиком. Поэтому я сделал тонкий срез пояса Койпера и заселил его несколькими репрезентативными карликовыми планетами TNO (транс-нептуновыми объектами). Разбросанные дисковые объекты, крупнейшим из которых является Эрида, находятся под таким большим наклоном, что у них мало шансов оказаться в пределах 50 а.е. от чего-либо. Орк рассматривался, но так как перигелии Плутона и Орка противоположны друг другу, то если один будет на карте, то другой будет далеко от него.

**ОБНОВЛЕНИЕ, 2020 г.** Несмотря на то, что орбита Эриды отклоняется от эклиптики на 44 градуса (плоскость, в которой вращается большинство планет), текущее положение Эриды отклоняется от эклиптики всего на 10 градусов. Более того, Эрида движется по орбите так вяло, что ее можно с таким же успехом приклеить к месту на время игры (период ее обращения составляет 557 лет). Следовательно, дельта- $v$  для орбитального соответствия наклону Эриды неприменима, так как она почти остановилась. До Эриды далеко, вдвое дальше, чем до Плутона. Но предполагается, что в течение всего века, когда игра будет иметь место, Эрида находится достаточно близко к эклиптике, чтобы можно было достичь ее с помощью гравитации Урана и Нептуна, а также сезонно Юпитера. Практичность гравитационной помощи была той самой причиной, по которой я исключил Эрис с самого начала. Так что я могу включить Эриду в будущую версию карты.

## У. Эссе (by Phil Eklund)

Четвертое издание High Frontier является кульминацией четырех десятилетий работы по проектированию и разработке! Здесь дизайнер Фил Эклунд рассказывает о некоторых ученых, инженерах и предпринимателях с первых дней своего существования.

**АТОМНОЕ НАЧАЛО.** Мой отец, Мелвин Эклунд, был ракетчиком. Работая в Лос-Аламосе, он посылал ракеты-зонды в «стабилизированные облака» атомных взрывов в Тихом океане и наблюдал с вертолетов за их эффектами. Может, радиация как-то повлияла на то, каким я стал.

**ДНИ ОБЩЕСТВА L5.** По натуре или по воспитанию, к 1978 году я был занудным студентом аэрокосмической инженерии Аризонского университета в Тусоне. Прочитав провидца Джерарда К. О'Нила «Далекий рубеж», я присоединился к обществу L5, группе космических активистов, основанной однокурсником Китом Хенсоном. Я писал статьи и иллюстрировал журнал L5 News, а также выступал против Лунного договора в 1980 году на том основании, что он закрывает космос для частной эксплуатации.

**ROCKET FLIGHT,** которых в 1978 году было выпущено около дюжины копий, была моей первой «изданной» игрой. В ней была карта из двух частей, покрытая пластиком. После каждого поворота вы отмечали местоположение, высоту и вектор полета вашей ракеты жирным карандашом. Каждый ход составлял 2 дня; каждый гекс - миллион километров. Бой был сложным, так как перехват требовал трехмерной визуализации. А поскольку изменить вектор было очень сложно, обычно у вас был только один проход по цели. Приманки были обычным явлением, так что многие ракеты тратились впустую на замаскированные куски скалы. Каждая ракета полагалась на свой «Детектор передней массы» для IFF. Думаю, эта публикация была первым появлением в какой-либо игре ЭМИ и рентгеновского отслаивания в качестве механики повреждений.

**НАЧИНАЮЩИЙ УЧЕНЫЙ-РАКЕТЧИК.** В следующем году я получил свою первую крупную работу в аэрокосмической отрасли в компании Hughes Aircraft и работал над различными проектами по «Звездным войнам», например, над внеатмосферной боевой машиной. Среди выдающихся ракетчиков, с которыми я работал в Hughes, был доктор Ганс Мауэр, один из переселенной ракетной команды фон Брауна, который сотрудничал с самим Говардом Хьюзом, чтобы основать аэрокосмическое подразделение. Доктор Мауэр дистанцировался от моих самых безумных проектов, таких как моя статья 1982 года о каталитических термоядерных двигателях. Вместо этого его спонсировал на конференции Joint Propulsion Conference в Кливленде доктор Лейк Мирабо, изобретатель корабля Mugaro Lightcraft (см. обложку Pax Transhumanity) и неутомимый пропагандист ракет и самолетов, приводимых в движение лазерным лучом. Лейк дал мне свою книгу, дал советы по игре и в целом определил правила для ракет с дистанционным управлением.

**РОЖДЕНИЕ СЪЕРРА-МАДРЕ.** Все еще не причастный к потребительским предпочтениям или маркетингу, я зарегистрировал компанию по производству настольных игр в штате Аризона в 1992 году. Моим наставником в предпринимательстве был Нил Софге (также известный как Fat Messiah из Fat Messiah Games). У нас с Нилом было много общего, в том числе у обоих наставником был доктор Мирабо. Нил, теперь работающий в NASA Goddard, вызвался в качестве координатора миссии High Frontier 4.

**ГЕНИЙ.** Другим ракетчиком Хьюза был доктор Роберт Форвард, свободомыслящий изобретатель звездного ореола, космических фонтанов, лазерных парусов, двигателей на антиматерии и вышеупомянутого детектора масс. Роберт общался в Hughes Research Labs с Ричардом Фейнманом, еще одним печально известным гением. Роберт объяснил, как можно преобразовать ионосферу в мегаваттный лазер, и многие другие чудеса. В лихорадочном возбуждении все эти элементы были включены во второе издание игры Rocket Flight, вышедшее в 1992 году. В этом издании была представлена первая карта «дельта-в», карта энергии, а не пространства, и первые правила для теплоотдачи.

**КАРТА.** Концептуальный скачок преобразовал карту из карты расстояния (каждый гекс = миллион км) в карту энергии (каждый гекс = 2,5 км/сек). Преимущество: поскольку каждая орбита имеет фиксированную потенциальную энергию Солнца, каждое пространство представляет собой стабильную орбиту. Не нужно перемещать маркеры вокруг солнца или планет. Против этого выступил коллега-разработчик игр (и основатель Mars Society) Роберт Зубрин, который посоветовал создать более традиционную карту с планетами, представленными шариками, вращающимися вокруг Солнца. Но это приводит к странностям. Знаете ли вы, что для того, чтобы добраться до поверхности лун Марса, требуется меньше энергии, чем для того, чтобы добраться до поверхности нашей собственной луны? Вы когда-нибудь пытались нарисовать карту Солнечной системы, где Марс ближе к нам, чем Луна? Или как представить, что маршрут с наименьшей энергией происходит, когда планеты находятся дальше всего друг от друга?

**КЕНДИЛЕНД.** Мы пробовали всевозможные способы приручить монстра. Работая с моим сыном Мэттом и другим гейм-дизайнером доктором Джоном Дугласом, пробелы были заменены маршрутами, с красными ромбами вдоль некоторых маршрутов, которые представляют требования delta-v. В качестве навигационных средств важные маршруты были окрашены в цвета радуги и снабжены указателями. К сожалению, это сделало карту еще больше похожей на Sanduyland, но игроки оценили их по достоинству. Алмазы были сброшены, вместо этого некоторые места были окрашены в розовый цвет, чтобы показать, что для входа им требуется энергия.

**ПРОБЛЕМА ОБЛЕТА.** В течение многих лет я боролся с переходом между околопланетным и гелиоцентрическим пространством. Я узнал об эффекте Оберта от доктора Натана Стрэнджа из Лаборатории реактивного движения, который сказал, что если вы совершите пролет планеты, вы можете получить гравитационный импульс, но эта энергия совершенно бесполезна для выхода на орбиту вокруг планеты. Энергия получена только по отношению к Солнцу. Решение заключалось в том, чтобы пути к пролетному пространству не пересекались ни с одним из околопланетных пространств этого мира. Целая страница правил была заменена геометрическими изменениями карты.

**ДОМ НА ЛАГРАНЖЕ.** За исключением очагов околопланетного пространства, во всей Солнечной системе преобладает солнечная гравитация. Тем не менее, здесь и там есть нулевые точки, где гравитация уравновешивается. Это знаменитые «точки Лагранжа» (общество L5 названо в честь точки Лагранжа 5). Изучая астрофизику в Университете, я познакомился с программистами LPL для миссии Кассини. Они показали мне свои программы и свинные отбивные и объяснили, как попадать в эти точки во время миссии. Отменив солнечную гравитацию, можно было свободно перейти на новую орбиту. На карте Sanduyland точки Лагранжа легко размещались в качестве естественных точек пересечения и отправных точек для многих других траекторий.

**ВРЕМЯ.** Энергетическая карта точно учитывала потребность в топливе, но время было другим вопросом. После многих лет возни я использовал систему маркеров, чтобы расставить задержки в маршрутах, чтобы миссии требовалось правильное количество лет. Позже концепция была упрощена до затрат дополнительной энергии (и топлива) для изменения направления на пересечениях. В точке Лагранжа космический корабль может изменить направление без затрат времени или энергии.

**ГИДРАТАЦИЯ.** Вода – ключ к Солнечной системе! Естественно, вода необходима для многих биологических процессов, но это капля в море по сравнению с его полезностью в качестве ракетного топлива. К счастью, мой приятель по кемпингу доктор Джонатан Луин (в настоящее время работает в Корнелле) только что опубликовал статью о доступности воды повсюду в Солнечной системе. Основой игры является системы гидратации. Джонатан написал два учебника (к которым я приложил иллюстрации и отредактировал): «Земля, эволюция обитаемой планеты» и «Ксенобиология».

**ВНЕШНИЕ МИРЫ.** Космос опасен. Другая приятельница по кемпингу, Кэролин Порко, была директором миссии «Кассини». Каждый раз, когда ее команда обнаруживала новую луну или радиационный поток вокруг Сатурна, игровая карта усложнялась. Кэролайн и Джонатан часто спорили у костра о том, какое место (луны Юпитера? Энцелад? Титан?) должно получить финансирование для следующей миссии к внешней планете. Естественно, у них были противоположные мнения о том, где я должен располагать на карте свои «высоконаучные» объекты. Кэролайн отдавала предпочтение Энцеладу, у которого есть потенциал для подземных океанов и жизни. Джонатан утверждал, что его аэростатная обсерватория на Титане даст гораздо больше научных результатов.

**РАДИАЦИОННАЯ ЗАЩИТА.** И Кэролайн, и Джонатан согласились с тем, что излучение Юпитера (самое высокое в Солнечной системе) затрудняет исследование Европы, еще одного потенциального места с подповерхностным океаном. Я знаком с радиационной защитой космических аппаратов, с которыми я работал в Raytheon. Я занимаюсь и продолжаю заниматься радиационной защитой внеатмосферного истребителя в Raytheon. Таким образом, я знаю, что защищать электронику от радиационных поясов Юпитера было бы тяжело, дорого и рискованно. Отсюда радиационная стойкость превратилась в «защитный фактор» игры.

**РЕЖИМ В КОСМОСЕ.** Я подробно изучил, как политика влияет на глубину исследования космоса (подробнее об этом см. в заметках дизайнеров в Pax Porfiriana). Ключом к любой передовой разработке является то, насколько новаторам предоставляется свобода извлекать выгоду из своих собственных усилий. Политическая ассамблея в High Frontier основана на диаграмме Нолана и расширяет традиционную лево-правую полярность до двух измерений.

**ГДЕ ПЕРВЫЙ?** Моя игра показывает, как и почему человек может впервые покинуть Землю. Но куда сначала? Я встретился с двумя активистами, Эйвери Дэвисом из Лунного общества и Робертом Зубриным из Марсианского общества, с противоположными взглядами на этот вопрос. В конце концов я поддержал позицию Роберта из-за одного ключевого фактора: воды. На астероидах и Луне есть вода, но воду на Марсе получить легче. Технологии добычи воды привели к прорывной игровой концепции ISRU (использование ресурсов на месте). ISRU, поддерживается предложениями Зубрина «Mars Direct». Доктор Зубрин также является изобретателем двух двигателей в игре: двигателя Зубрина на соленой воде и двигателя мини-магнитосферы.

**ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ РАКЕТА** — это ракета с топливом, выделяющим тепловую энергию, и соплом, направляющим эту энергию в тягу. Новой особенностью HF4 является разделение термодинамической ракеты на две части: реакторы (для выработки энергии) и двигатели/сопла (для коллимации этой энергии в однонаправленный луч). В более ранних версиях игры были двигатели и реакторы, но они не были так строго разделены на дихотомию мощность/геометрия. В отличие от электрических ракет, у которых температура застоя топлива может достигать миллионов градусов, но при этом ни один из его компонентов не нагревается выше комнатной температуры, термодинамические ракеты очень сильно нагреваются для лучшей экономии топлива. В конце концов, температура — это не что иное, как мера скорости молекул, когда они летают, и максимально быстрое покидание этих молекул сохраняет их массу.

*Phil Eklund, Sierra Madre Games, July 2015 (updated 2019).*

## Z. Описания карт патентов (Phil Eklund & Noah Vale)

**ТЕМПЕРАТУРЫ** указаны в градусах Кельвина (K) (где 0 K — абсолютный ноль, а вода кипит при 373 K). Для преобразования градусов K в градусы Цельсия, вычитите 273. Температура плазмы указана в килоэлектронвольтах (кэВ). Чтобы перевести кэВ в градусы K, умножьте кэВ на 11 604 000.

**КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА** описывает вполне реальные и предсказуемые законы природы, которые обычно грубо неверно истолковываются из-за широко распространенных неправильных предположений о природе физики, наших средств описания объективного мира. Мифом является то, что квантовая механика «доказывает», что Вселенная действует по другому набору правил в сфере малого или что причинность и объективная реальность являются иллюзиями. Каждое наблюдение говорит нам что-то либо о наблюдаемом явлении, либо о приборе, осуществляющем наблюдение. Если мы смотрим на звезду в телескоп, является ли наблюдаемая хроматическая аберрация особенностью звезды или линзы? Если мы наблюдаем воспроизводимый квантовый эффект, это, несомненно, говорит нам что-то об объективной реальности. Но наблюдаем ли мы свойство Вселенной в целом или, скорее, то, как работает наш разум? Наблюдаем ли мы свойство кванта или свойство сознания? Я верю последнему. Является ли наблюдаемый фотон частицей или волной? Он проходил через верхнюю щель или через нижнюю щель? Кот жив или мертв? Квантовая запутанность, неопределенность Гейзенберга, жуткие действия на расстоянии — все это говорит нам о важных фактах о нашем сознании и его методологии сжатия данных. Почему еще квантовые эффекты вступают в игру только при наличии человека-наблюдателя и странным образом отсутствуют, если никто не смотрит? Почему квантовые устройства, такие как q-компьютеры, q-машины времени, q-реакторы, q-запутанности, q-транспортеры и т. д., кажется, никогда не доходят до стадии прототипа? По этой причине я избегал квантовых технологий в игре.

## Z1. Карты экипажа

**Карта Экипажа (Crew)** – Хотя это и не карта патента, ваш стартовый экипаж представлен технологией расходных материалов и средств жизнеобеспечения, а также до шести астронавтов. Они размещены в 16-тонных разгерметизируемых жилых модулях Bigelow (1760 м<sup>3</sup>), изготовленных из вектрана (высокотехнологичное многокомпонентное волокно из жидкокристаллического полимера). Парные модули, расположенные на расстоянии 45 метров друг от друга, вращаются со скоростью 5 об/мин, создавая искусственную гравитацию 0,6G. Питание и вентиляция обеспечивается культурами, которые растут без почвы, но их корни ежедневно опрыскиваются питательными веществами. Участок шириной 25 метров обеспечивает всеми продуктами на год. Лишнее тепло от испарения растений отводится низкотемпературными радиаторами. 10-тонному модулю жизнеобеспечения требуется 12 кВт, а для связи на K<sub>a</sub>-диапазоне требуется еще 0,2 МВт. Плазма поддерживает высокий электрический потенциал (10 ГэВ) вокруг жилого блока для защиты от большинства космических лучей. Эта защита меняет траекторию частиц, что позволяет избежать столкновения с экипажем. В случае солнечной бури, экипаж должен эвакуироваться в небольшое (диаметром 8 м) убежище. Укрытие экранировано полиэтиленом с поверхностной плотностью 100 кг/м<sup>2</sup> (толщиной 12 см), а также водным пропеллентом и графитом.

**Химические двигатели (Chemical Thrusters)** – Большинство карт Экипажа (Crew) включают в себя химический двигатель, работающий на жидком или твердом топливе. Двигатели на жидком топливе сжигают криогенное топливо (жидкий водород и кислород) для достижения удельного импульса в вакууме в 0,53 кс (что эквивалентно расходу топлива 8 в игре). Продуктом сжигания является вода, которая выбрасывается через сужающуюся и затем расширяющуюся трубку, называемую соплом Лавалю. Примером может служить главный двигатель космического корабля "Шаттл" (SSME): удельный импульс = 0,46 кс, сопло с соотношением площадей 180:1, регенеративное охлаждение жидким водородом, соотношение смеси = 5,4, температура в камере = 3500 К, давление в камере = 2,8 МПа, тепловой КПД = 98%, КПД замороженного потока = 55%, мощность = 2 ГВт, тяга = 440 кН (игровое значение 10), тяговооруженность равна 1G. Твердотопливные двигатели, смоделированы в игре в виде грунтовых двигатели (*dirt thrusters*), имеют гораздо более низкие удельные импульсы в диапазоне от 0,1 до 0,3 кс. – *Космические транспортные системы, Американский институт авиации и аэронавтики, Нью-Йорк, 1978 г.*

## Z2. Карты двигателей (Thruster)

**Ракетный двигатель** – это устройство, которое ускоряется в одном направлении, выбрасывая массу в другом направлении. Парусный двигатель также использует принцип действия-противодействия для ускорения, но использует массу, находящуюся снаружи, а не внутри. Тяга измеряется в кН (килоньютонах). Эффективность двигателя традиционно измеряется удельным импульсом, измеряемым в кс (килосекундах). Я не буду подробнее объяснять, что такое удельный импульс, кроме того, что если Вы разделите 4 на это значение (в кс), Вы получите показатель эффективности топлива в игре. Кроме того, если Вы умножите это значение (в кс) на 10, вы получите его выходную скорость (скорость топлива на выходе из сопла) в километрах в секунду. Эффективная скорость истечения продуктов сгорания из сопла ракетного двигателя (V<sub>e</sub>) в км/сек, умноженная на расход топлива в кг/сек, равна ее тяге в кН. V<sub>e</sub> также используется в уравнении Циолковского:  $\Delta V$  (км/сек) = V<sub>e</sub> \* ln (полная масса/сухая масса).

**Двигатель с абляционным соплом (Ablative Nozzle Thruster)** – двигатель с полусферическим соплом, покрытым расходным материалом, который превращается в реакционную массу при испарении импульсным излучением. Реакция происходит снаружи, в центре полусферы, так что половина энергии реакции улетает в космос и тратится впустую. Если излучение – нейтроны, то облицовка – литий или полиэтилен. Если излучение представляет собой жесткое гамма-излучение, например, в результате реакции антивещества, излучение необходимо сначала термализовать (то есть замедлить), окружив топливную гранулу слоем свинца. Затем термальное рентгеновское излучение попадает на тонкую пленку карбида кремния (SiC) в абляционном сопле для создания тяги.

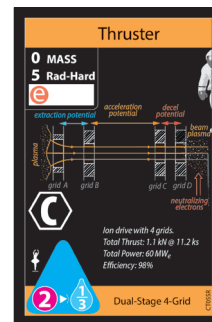
**Двигатель с плоским абляционным соплом (Ablative Plate Thruster)** – Двигатель имеет плоское сопло. Внешняя импульсная энергия перехватывается, а тонкая пленка пластины испаряется и выбрасывается. Этот выброс представляет собой равномерность коллимированного топлива. В проекте Orion используется амортизирующая пластина, сужающаяся для равномерного поглощения ядерной энергии. Абляционные двигатели требуют большего контроля температуры.

**Термоядерный бор-протонный коллайдерный двигатель (Colliding Beam H-B Fusion Thruster)** – H и B-11 могут быть доведены до состояния синтеза путем столкновения тангенциального луча H с B-11 в магнитном поле FRC (обращенной магнитной конфигурации). В конфигурации с магнитным зеркалом продукты реакции в виде атомов He-4 выбрасываются для формирования тяги. Q составляет 2,63. При открытом охлаждении достигается удельный импульс 40 кс. Эффективность 83% предполагает, что найдены какие-то средства контроля тормозного излучения.

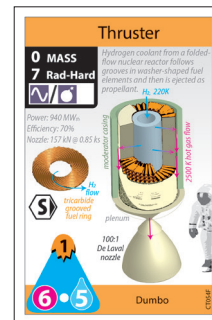
**Двигатель с соплом Лавалю (De Laval Nozzle Thruster)** – Сужающаяся и затем расширяющаяся форма сопла Лавалю предназначена для ускорения потока топлива до сверхзвуковых скоростей. Его работа основана на разных свойствах газов, движущихся с дозвуковыми и сверхзвуковыми скоростями. По мере сужения сопла скорость дозвукового потока газа будет увеличиваться, чтобы поддерживать постоянный расход. Течение газа через сопло Лавалю принимается за изэнтропное (энтропия газа почти постоянна). При дозвуковом течении газ сжимается. В горловине скорость газа локально становится звуковой (число Маха = 1,0), это состояние называется Критический поток<sup>4</sup>. По мере увеличения площади поперечного сечения сопла газ расширяется, и скорость газового потока увеличивается до сверхзвуковых скоростей, при которых звуковая волна не будет распространяться через газ назад, если смотреть в системе отсчета сопла (число Маха > 1,0). Для камер высокого давления коэффициент расширения (отношение площади горловины к площади выхода) 100:1 используется для захвата достаточного количества тепла для эффективности сопла в 90%. Он регенеративно охлаждается за счет пропускания жидкого водородного хладагента через каналы, окружающие стенку сопла. Затем нагретый водород впрыскивается в ракету в качестве топлива.

<sup>4</sup> КРИТИЧЕСКИЙ ПОТОК. Каждый ребенок с воздушным шаром знает, что ракетам нужны сопла, но часть волшебства сопел теряется в сухих объяснениях. Чтобы нагляднее вообразить это, представьте сопло как команду из двух человек, где «Чарли» отвечает за подачу топлива, пока вы путешествуете в пузыре внутри самого топлива. Когда вы продвигаетесь к узкому горлу, давление возрастает, но вы кричите Чарли, чтобы он увеличил давление, чтобы бы поток жидкости оставался постоянным. Постоянная масса жидкости в постоянно сужающейся камере течет быстрее, как если бы вы пережимали шланг, чтобы обрызгать водой сестру. Вскоре вы движетесь со скоростью 1 Маха, как вдруг сопло расширяется и давление резко падает. Ты кричишь Чарли, но теперь ты на сверхзвуке, и твои слова не могут до него добраться. Поскольку поток «заглушен», снижение давления на выходе не приведет к увеличению массового расхода, потому что Чарли вас не слышит. Теперь вы разгоняетесь до сверхзвуковых скоростей, необходимых для низкого расхода топлива.

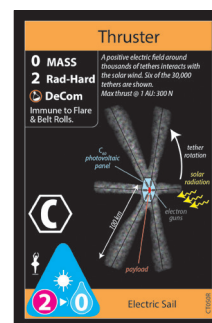
**Двухступенчатый 4-х сеточный двигатель (Dual-Stage 4-Grid Thruster)** — этот тип ионного двигателя создан на основе ионных ускорителей в экспериментальных термоядерных реакторах. В отличие от традиционных ионных двигателей, в которых используются 2 или 3 электростатические сетки для одновременного извлечения и ускорения ионов, в DS4G используются две пары решеток для того, чтобы разделить процесс извлечения ионов от процесса ускорения. Это разделение позволяет увеличить длину ускорительной камеры и, следовательно, повысить скорость истечения (удельный импульс 11–14 кс). Он также позволяет получать более высокий потенциал (80 кВ) на последней паре решеток для уменьшения эрозии сетки и расходимости пучка сопла (менее половины градуса по сравнению с 15 градусами у обычных ионных двигателях). — С. Браманти, Р. Уокер и др., *Инновационная концепция двухступенчатого ионного двигателя с 4 сетками - Теория и экспериментальные результаты*, 2006 г.



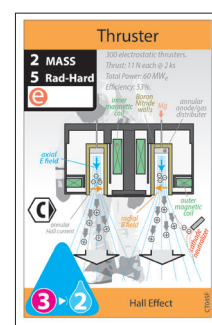
**Ядерно-тепловой двигатель Dumbo (Dumbo Thruster)** — «Толстокожий» двигатель с максимально увеличенным путем потока газа через теплообменник для большей эффективности и меньшей массы при извлечении энергии хладагента из различных ядерных реакций. Вместо того, чтобы газ протекал от одного конца реактора к другому по прямым трубам, топливо в Dumbo проходит часть пути вниз по активной зоне реактора, затем какое-то время перемещается радиально (вбок), а затем возвращается к течению вдоль главной оси реактора перед выходом из сопла. Такое изменение пути потока, называемое «сложенным потоком», позволяло уменьшить объем и массу при той же тяге (7500 МВт/м<sup>3</sup>). Для повышения максимальной температуры топливного элемента в усовершенствованных Dumbo используются отражатели, гидридные замедлители и топливные элементы с «рифленной шайбой», изготовленные из трикарбидов урана, циркония и тантала. — Билл Курк, *Dumbo, толстокожий ракетный двигатель, Лос-Аламосская национальная лаборатория, 1992 г.* <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19920001882.pdf>; Брайан Тейлор и Билл Эмрих, *Исследование кольцевого тепловыделяющего элемента из трикарбида с канавками для ядерной тепловой ракеты*, 2017 г.



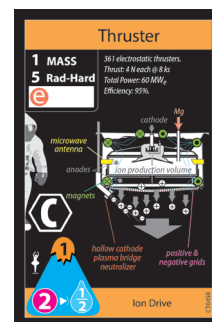
**Электрический парус (Electric Sail Thruster)** — давление солнечного ветра постоянно изменяется, но в среднем составляет около 2 нПа на одну а.е. Электрический парус движется за счет этого потока частиц аналогично магнитному парусу, за исключением того, что используются электрические, а не магнитные поля. В геометрии электрического паруса используются сотни очень длинных (например, 100 км), тонких (например, 20 микрон) проводов. Весь парус вращается с периодом 20 минут, чтобы его тросы находились в натяжении. Электронная пушка (мощностью в несколько сотен ватт) используется для поддержания космического корабля и проводов в высоком (до 20 кВ) положительном потенциале. Электрическое поле окружает каждый провод на несколько десятков метров. Поэтому ионы солнечного ветра «видят» провода как довольно толстые препятствия. Именно это позволяет парусам, использующим солнечный ветер, превосходить паруса, использующие давление фотонов, которое в 5000 раз сильнее. Положительно заряженные тросы отталкивают протоны солнечного ветра, отклоняя их траектории. Каждый 100-километровый трос массой всего в килограмм создает таким образом тягу 0,01 Н. Одновременно он притягивает и электроны из плазмы солнечного ветра, которые нейтрализуются электронной пушкой. Потенциометры между каждым тросом и космическим кораблем контролируют положение, точно настраивая потенциал троса. Кроме того, тягу можно включить или выключить, просто включив или выключив электронную пушку. Чтобы сделать конструкцию устойчивой к метеорным телам, каждый трос состоит из большого количества проводов с промежуточными связями. Вариантом электрического паруса является дипольный привод, который заменяет один положительно заряженный экран двумя параллельными экранами, одним положительным и одним отрицательным. Это позволяет парусу маневрировать, ускоряя окружающие протоны или электроны, позволяя путешествовать внутри магнитосферы и позволяя парусу двигаться быстрее, чем солнечный ветер. Дипольный парус может развивать мощность более 6 мН/кВт в межпланетном пространстве и более 20 мН/кВт на орбитах Земли, Венеры, Марса или Юпитера. — *Электрический парус, Журнал движения и мощность и AIAA, Электрический парус, 2004 г.*; Янхунен, П. и А. Сандроос, *Моделирование воздействия солнечного ветра на заряженный провод: движение электрического паруса солнечного ветра*, 2007; Роберт Зубрин, 2018.

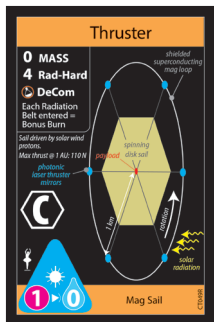


**Двигатель на эффекте Холла (Hall Effect Thruster)** — принцип работы этого ионного двигателя основан на ускорении, возникающем из-за наличия электрического потенциала, создаваемого между цилиндрическим анодом и отрицательно заряженной плазмой, образующей катод. Для запуска двигателя анод на входном конце двигателя заряжается до высокого положительного потенциала от источника питания двигателя. Одновременно полый катод на нижнем по потоку генерирует электроны. Когда электроны движутся вверх по потоку к аноду, они и сталкиваются с магнитным полем, создаваемым мощными электромагнитами. Это поле улавливает электроны, заставляя их формировать кольцо по окружности на нижнем по потоку конце канала двигателя. Двигатель Холла получил свое название от этого потока электронов, называемого напряжением Холла. Этот вращающееся поле сталкивается с потоком порошкообразного магниевого топлива, создавая ионы. Когда ионы топлива генерируются, они подвергаются действию электрического поля, создаваемого между анодом (положительным) и кольцом электронов (отрицательным), и выходят в виде пучка ускоренных ионов. Значительная часть энергии, необходимой для запуска двигателя на эффекте Холла, используется для ионизации топлива, что приводит к потерям энергии. Эта конструкция также страдает от эрозии разрядной камеры. Положительным моментом является то, что электроны в токе Холла удерживают плазму практически нейтральной, что обеспечивает гораздо большую тягу, чем ионные двигатели.

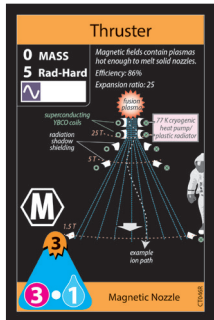


**Ионный двигатель (Ion Drive Thruster)** — этот электростатический ускоритель частиц в космосе фактически представляет собой электрическую ракету. В показанной конструкции используется комбинация микроволн и вращающихся магнитов для ионизации топлива, что устраняет необходимость в электродах, которые подвержены эрозии в ионном потоке. Топливом является любой металл, который легко ионизируется. Подходящим выбором является магний, который обычно встречается в астероидах, которые когда-то были частью мантий разрушенных родительских тел, и который улетучивается из реголита при относительно низкой температуре 1800 К. Ионный двигатель ускоряет ионы магния, используя отрицательно заряженную сетку, и нейтрализует их при выходе. Чтобы уменьшить эрозию сетки, используются сетки С-С. Поскольку поток состоит из ионов, которые взаимно отталкиваются, поток топлива ограничивается низкими значениями, пропорциональными площади поперечного сечения области ускорения и квадратному корню из градиента напряжения. Разделение ускорения от процесса экстракции на двухступенчатую систему позволяет достигать градиентов напряжения 30 кВ без образования дуги в вакууме, что соответствует скоростям на выходе 80–210 км/сек. Система мощностью 60 МВт с тягой 1,5 кН использует шестиугольную решетку диаметром 25 метров, содержащую 361 ускоритель. Эффективность замороженного потока высока (96%). Чтобы увеличить ускорение (соответствующее правилу игры «охлаждать открытого цикла»), вместо ионов ускоряются коллоиды. Коллоиды (заряженные субмикронные капли проводящей неметаллической жидкости) более массивны, чем ионы, поэтому коллоидный двигатель увеличивает тягу за счет экономии топлива.

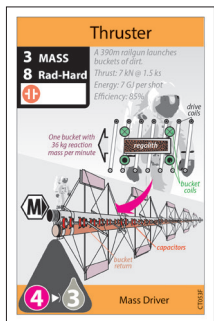




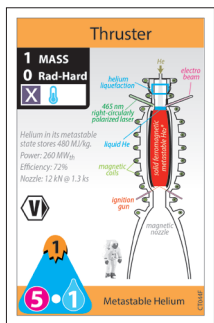
**Магнитный парус (Mag Sail Thruster)** — магнитный парус передвигается за счет взаимодействия с протонами солнечного ветра. На расстоянии в 1 а.е. такой ветер содержит несколько миллионов протонов на кубический метр и движется по спирали от Солнца со скоростью 400–600 км/сек (256 мВт/м<sup>2</sup>). Такие заряженные частицы двигаясь через магнитное поле, образованное магнитным парусом, огромной проволочной петлей диаметром около 2 км, отклоняются. Негруженный магнитный парус такого размера имеет тягу 100 ньютонов (при 1 а.е.) и массу 20 тонн. В конструкции используется сверхпроводящий нитевидный провод, соединенный с центральной шиной. Провод требует простой многослойной изоляции и отражающих покрытий для поддержания ее сверхпроводящей температуры в 77 К. Поскольку область паруса представляет собой магнитное поле, не имеющее массы, магнитный парус имеет лучшее соотношение тяги и веса, чем фотонные паруса. Как и в случае с фотонными парусами, магнитный парус способен поддерживать боковое движение при ориентации паруса под углом к толкающей среде. Магнитный парус может также развивать тягу от планетарной и солнечной магнитосферы, которая уменьшается в четвертую степень расстояния от источника магнитосферы раз. Напряженность поля обычно составляет 10 мкТл (в магнитосфере Земли) или меньше в солнечной магнитосфере. Изображенный магнитный парус имеет тягу, усиленную фотонным парусом с вращающимся диском, прикрепленным к его стопам. Парус управляется с помощью фотонных лазерных двигателей (бестопливная тяга, возникающая в результате отражения лазерных фотонов между двумя зеркалами).



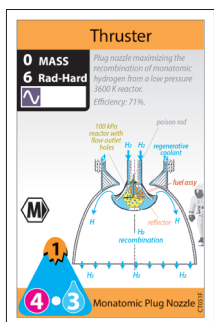
**Двигатель с магнитным соплом (Magnetic Nozzle Thruster)** — Ракеты с высоким удельным импульсом выигрывают от сопла, которое не ограничено температурой плавления его материала. Вместо стенок из твердых материалов, магнитные сопла направляют отработанный поток ионов или проводящей плазмы, при помощи использования магнитных полей. Проиллюстрированная конструкция работает при напряженности магнитного поля 25 Тл с КПД сопла 86%. Его катушки изготовлены из высокотемпературного сверхпроводника, такого как YBCO (оксид иттрия-бария-меди). Вольфрамовые лопасти покрывают 1% площади сопла и перехватывают 2% термоядерного излучения. Лопасти не требуют охлаждения (они излучают тепло), но используют многослойный теплозащитный экран из 3 мильона/вакуума, чтобы предотвратить передачу тепла к катушкам. Более дешевой альтернативой радиационному экрану является углерод, который при 1500 К излучает 287 кВт/м<sup>2</sup>. Толщина углерода 12 см снижает долю нейтронов с энергией 14 МэВ, которые проходят через него, до <0,001. Пластиковые радиаторы обеспечивают работу YBCO при температуре жидкого азота (77 К).



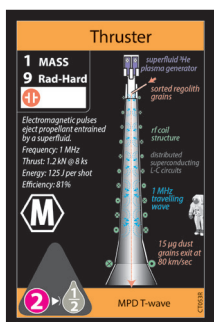
**Электромагнитная катапульта (Mass Driver Thruster)** – электродинамический ускоритель может использоваться как двигатель или пусковая установка. В любой системе используется легкий ковш, соединенный парой сверхпроводящих петель, действующих как арматура линейно-электрической направляющей, загруженной реголитом. Показанный двигатель разгоняет полезную нагрузку до 50 000 г, используя 3,8 ГДж электромагнитной энергии, накопленной индуктивно в сверхпроводящих катушках. Длина катапульты составляет 390 метров. Полезный груз массой 36 кг выбрасывается со скоростью 11 км/с каждые 30 секунд, в то время как ковш замедляется и поднимается. КПД составляет 85%, хотя для охлаждения сверхпроводников нужны криогенные радиаторы на 77 К. Массовый привод, оптимизированный для транспортировки материалов, а не для движения, использует более высокое отношение массы полезной нагрузки к массе ковша. При рабочем цикле 54% эта система может запускать 10 кг/год. фабричных изделий или камней. В сочетании с точностью наведения в десятки микроардиан катапульта может запускать необходимые объекты или использоваться в качестве оружия, по целям расположенным за миллионы километров. – Джерард К. О'Нил, *Высокий рубеж: человеческие колонии в космосе, 1977.*



**Двигатель на метастабильном гелии (Metastable Helium Thruster)** — Метастабильный гелий представляет собой электронно-возбужденное состояние атома гелия, легко формируемое электронным пучком с энергией 24 кэВ в жидком гелии. Если бы спин-орбитальный распад можно было подавить с помощью когерентной лазерной накачки, его теоретическое время жизни составило бы восемь лет (в виде ферромагнитного твердого He<sub>2</sub> с температурой плавления 600 К). Твердый метастабильный гелий, выровненный по спину, может быть полезным, хотя и ненадежным, химическим топливом с большой тягой с теоретическим удельным импульсом 3,2 кс. – Дж.С.Змуидзинас, *Стабилизация He (a 3Sigma+) в жидком гелии с помощью оптической накачки, неопубликовано (1976).*



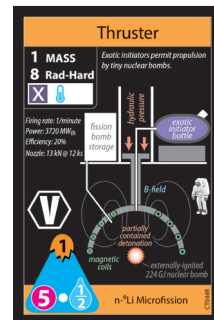
**Двигатель с одноатомным затворным соплом (Monatomic Plug Nozzle Thruster)** — одноатомный водород имеет половину молекулярного веса молекулярного водорода, поэтому он имеет гораздо более высокие характеристики в термодинамической ракете (удельный импульс > 1,32 кс). Однако температуры, достаточно высокие для диссоциации водорода (> 3000 К), разрушили бы реактор с твердой активной зоной, если только давление не было бы достаточно низким, чтобы реально выделяемое тепло было низким. Большинство NTR работают при давлении 31 бар, но одноатомный реактор работает только при 1 бар, для 50-кратного уменьшения теплового потока и отсутствия необходимости в турбонасосах. Активная зона сферическая, с топливом, вводимым в центр и выходящим через выходы на поверхность при температуре 3600 К. Топливные элементы деления могут быть любой геометрии: камешки, шайбы, скрученные ленты, что угодно. Пробковое сопло намного короче, чем у стандартных NTR, из-за низкого давления и теплового потока. Конструкция пробки должна максимизировать рекомбинацию при эффективности 71%. Использование водорода для управления реакцией устраняет необходимость в регулирующих барабанах. – Дж.Х. Рамстелер, *Концепция ядерной тепловой ракеты низкого давления (LPNTR), 1991.*



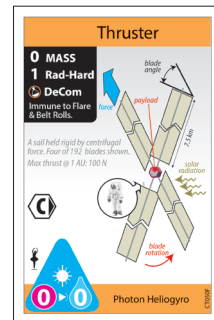
**Магнитоплазодинамический двигатель (MPD T-wave Thruster)** — импульсные электрические ракеты могут ускорять топливо с помощью магнитоплазодинамических бегущих волн (MPD T-волны). В показанной конструкции сверхтекучий магнитный гелий-3 ускоряется с помощью импульсной системы, в которой токи в несколько сотен килоампер кратковременно развивают чрезвычайно высокие электромагнитные силы. Ускоритель последовательно запускает цепь распределенных сверхпроводящих LC-контуров, которая выталкивает жидкую магнитную поршнем. В качестве топлива используются микрограммы пыли реголита, увлекаемые сверхтекучим гелием. Пыль и гелий удерживаются от стен внутренней радиальной силой Лоренца с эффективностью 81%. Для каждого импульса в 125 Дж требуется миллифарад общей емкости при нескольких сотнях вольт. По сравнению с ионными двигателями, MPD имеют хорошую плотность тяги и не нуждаются в нейтрализации заряда. Однако они нагреваются и имеют электроды, которые со временем изнашиваются. Кроме того, постоянно требуются небольшие количества дорогостоящей сверхтекучей среды.



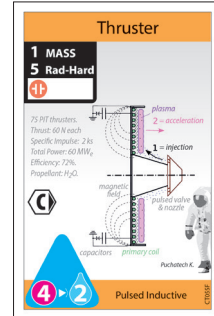
**6Li Микродвигатель (n- 6Li Microfission Thruster)** – ракеты, которые летают с использованием атомных взрывов, такие как проект Орион, требуют огромных амортизаторов из-за того, что минимальная взрывная мощность составляет около четверти килотонны. Размер импульса можно уменьшить до уровня микроделения за счет использования экзотических частиц. Изотоп лития 6Li можно довести до спонтанной ядерной реакции (я не уверен, будет ли это деление или синтез) при взаимодействии с частицами с очень большими сечениями реакции, такими как ультрахолодные нейтроны. Никакой «критической массы» не требуется. Это чистая реакция с заряженными частицами (Т и He) в качестве продуктов, каждая из которых имеет энергию около 2 МэВ. Изобретенная система использует 5-метровое магнитное сопло для передачи энергии микровзрыва на транспортное средство. Это сохраняет преимущество передачи магнитных импульсов, обозначенное концепцией MagOrion (сочетание Orion и магнитного паруса). Скорость реакции топлива 30 мг/сек производит 2000 МВт. При частоте следования импульсов один взрыв мощностью 224 ГДж каждые 2 минуты тяга составляет 5 кН при удельном импульсе 16 кс. Гидравлическое приспособление колеблется с настроенной частотой, чтобы обеспечить постоянное ускорение космического корабля. Комбинированный КПД замороженного потока и сопла составляет 25%, а тепловой КПД – 80%. – Ральф Эвиг, Mini-mag Orion Concept, модифицированный для деления n-Li6.



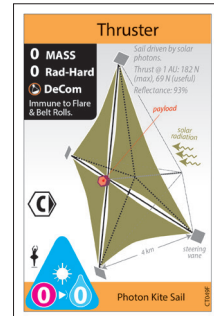
**Фотонный парус «Гелиогиро» (Photon Heliogyro Sail)** – вид конструкции солнечного паруса состоящий из нескольких вращающихся лопастей, называется Гелиогиро. Его лопасти усилены центробежной силой и наклонены для обеспечения контроля ориентации, как у вертолета. При изменении положения паруса возникают колебания, которые необходимо сдерживать поперечными планками. Небольшие парусные панели предотвращают образование складок из-за искривления краевых элементов между планками. По этим причинам Гелиогиро не имеет преимуществ в массе перед воздушным змеем, но его преимущество заключается в более легком развертывании в космосе. Эталонный проект на 1 а.е. генерирует 100 ньютонов (максимум) от 4 блоков по 48 лопастей в каждом. Каждая лопасть имеет размеры 8 x 7500 м. Пленка паруса толщиной 1 мкм с отражающим и эмиссионным покрытиями. Каждая лопасть прикреплена к ступице, поэтому они все вращаются вместе. Многослойная пленка из алюминизированного пластика толщиной 2,5 микрон, весит 7 тонн, а с несущими тросами – 20 тонн. – Джером Райт, Space Sailing, сmp. 82–88, 1992 г.



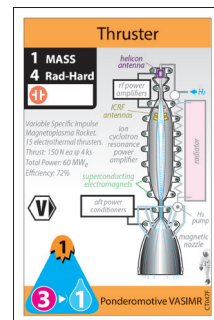
**Импульсный индукционный двигатель (Pulsed Inductive Thruster)** – тип магнитоплазодинамического (MPD) двигателя со многими преимуществами по сравнению с другими электрическими двигателями. Он работает с огромным спектром топлива, от воды до аммиака и гидразина, что позволяет ISRU «использовать местные ресурсы» при исследовании Солнечной системы. Двигатель PIT не нуждается в электроде, который является основной причиной износа большинства двигателей. Наконец, его нестационарная работа позволяет поддерживать удельный импульс в широком диапазоне уровней мощности. Импульс состоит из двух стадий: сначала газообразное топливо распыляется короткими струями на плоскую индукционную катушку, которая затем в течение очень короткого периода времени разряжается из батареи конденсаторов (обычно в наносекундном диапазоне), вызывая ионизацию газа и затем ускоряется силой Лоренца. Частота импульсов и, следовательно, тяга зависят от времени, необходимого для зарядки конденсаторов. – Фрисби, 2005.



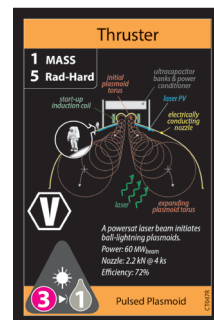
**Солнечный парус с жесткой конструкцией (Photon Kite Sail)** – самый простой способ удержать парус, чтобы поймать солнечный свет, — это использовать жесткую конструкцию, очень похожую на воздушного змея. Балки такой конструкции образуют трехосную стабилизацию. Кайт-парусами легче маневрировать, чем парусами, которые поддерживают себя за счет вращения. В зависимости от наклона паруса, давление света может направить парус по спирали к или от Солнца. Показанный воздушный змей имеет мачту, 4 гика и стойки, поддерживающие квадратный парус со стороной 4 км. При коэффициенте отражения 93% он развивает максимальную тягу в 100 ньютонов на расстоянии 1 а.е. Управление осуществляется четырьмя рулевыми лопатками на углах (площадью 20 000 м2 каждая). Его масса без груза составляет 16 000 кг, а нагрузка на парус без груза составляет 1 г/м2. Такой парус должен быть достаточно тонким (алюминиевая пленка 300 нм) с отверстиями размером с длину волны видимого света. Данный парус имеет ограничение нагрева до до 600 K и не может работать на околоземной орбите ниже 1000 км из-за сопротивления воздуха. Его тягу можно увеличить в десять раз за счет освещения лазерным лучом мощностью 60 МВт. – Дж. М. Гарви, Варианты космической станции для создания усовершенствованных солнечных парусов, способных выполнять несколько миссий на Марс, Документ AIAA 87-1902, 23-я Совместная двигательная конференция AIAA / SAE / ASME, Сан-Диего, Калифорния, 1987 г.

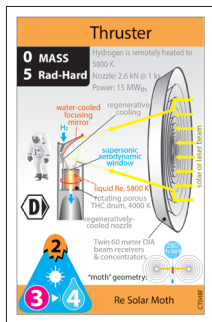


**Электромагнитный ускоритель с изменяемым удельным импульсом (Ponderomotive VASIMR Thruster)** – эта электрическая ракета имеет две уникальные особенности: отсутствие анодного и катодного электродов (что значительно увеличивает срок ее службы по сравнению с другими электрическими ракетами) и способность изменять тягу и удельный импульс. Космический корабль VASIMR будет использовать пониженную передачу для ухода с планетарной орбиты и высокую передачу для межпланетного полета. Другие преимущества включают эффективный резонансный нагрев (80%) и относительно низкое потребление тока и высокое напряжение питания. Топливо (обычно водород, хотя можно использовать и многие другие летучие вещества) сначала ионизируется геликонными волнами, а затем переносится во вторую магнитную камеру, где нагревается до десяти миллионов градусов К осциллирующими электрическими и магнитными полями, также известными как пондеромоторная сила. Гибридное двухступенчатое магнитное сопло преобразует спиральное движение в осевую тягу с эффективностью 97%. – Франклин Чанг-Диас и др., Физика и разработка двигателя VASIMR, 2000.

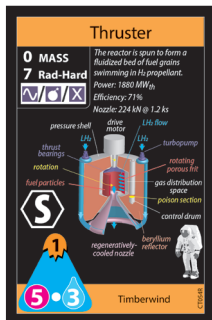


**Импульсный плазмодный двигатель (Pulsed Plasmoid Thruster)** – плазмод представляет собой когерентную структуру в форме тора из плазмы, окруженную магнитными полями. Плазмодная ракета создает тор из шаровой молнии, направляя мегаамперный ток на топливо. Почти любой вид топлива можно применять в подобном устройстве. Ионизационные потери составляют небольшую долю от общей энергии; эффективность замороженного потока составляет 90%. В отличие от других электрических ракет, плазмодный двигатель не требует электродов (которые подвержены эрозии), а его мощность можно увеличить, просто увеличив частоту импульсов. Проиллюстрированная конструкция имеет структуру диаметром 50 м. – Р. Бурк, General Atomics, 1990.

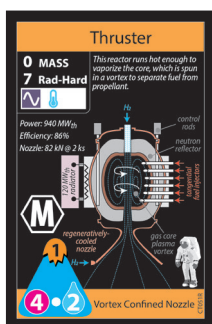




**Солнечная тепловая ракета (Re Solar Moth Thruster)** — это теоретическая двигательная система космического корабля, собирающая солнечный свет и фокусирующая его на топливе, направляющемся к соплу. Геометрия «мотылек» использует два зеркально-майларовых «крыла» диаметром 60 м ( $7 \text{ г/м}^2$ ) для концентрации света. К сожалению, водородное топливо практически прозрачно для солнечного света, поэтому необходим высокотемпературный теплообменник. Этот теплообменник представляет собой вращающийся пористый барабан, изготовленный из карбида тантала-гафния (TbC), который регенеративно охлаждается, чтобы оставаться твердым при температуре 4000 К. Затем топливо/хладагент прокачивается под высоким давлением через поры в барабане, образуя плазменные пузырьки на следующую ступень теплообменника: слой жидкого рения. Рений (Re) плавится при 3459 К, но остается жидким до 5903 К. Вращение барабана создает искусственную силу тяжести, благодаря которой пузырьки водорода поднимаются через более плотный рений и выбрасываются по центру через сопло Лавала. Температура топлива 5800 К, такая же, как и у поверхности Солнца, что соответствует удельному импульсу 1,2 кс (для водорода) или 0,5 кс (для воды). —Ф.Г. Этеридж, Анализ концепции солнечной ракетной системы, Rockwell Space Systems Group (размер изменен для тяги 3 кН), Маллик К. (Matterbeam), 2017.



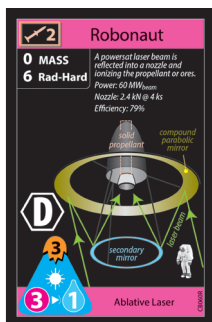
**Ядерный ракетный двигатель Тимбервинд (Timberwind Thruster)** – один из секретных проектов в 1980-х гг. В реакторе NTR этого типа жидкое топливо прокачивается через псевдооживленный слой твердотопливных гранул с достаточной скоростью, чтобы подвешивать гранулы и заставлять их вести себя как жидкость. Реактор вращается со скоростью 3000 об/мин, что достаточно, чтобы удерживать топливные гранулы на месте за счет центробежной силы, когда через них проходит водородное топливо. Поскольку гранулы не удерживаются в неподвижном стержне, они могут перемещаться по реактору по мере его нагревания и охлаждения. Это снижает требования к прочности топлива, допуская более высокую температуру и удельный импульс (1,2 кс), чем NTR с твердым сердечником. — Эль-Генк и др., 1990; Людевиц, 1990; Хорман и др., 1991.



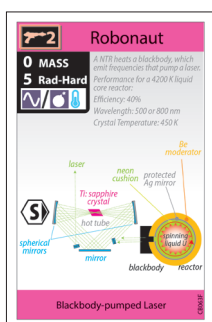
**Вихревой двигатель с суженным соплом (Vortex Confined Nozzle Thruster)** – чем горячее ядро термодинамической ракеты, тем лучше ее топливная экономичность. Если становится достаточно жарко, твердое ядро испаряется. Ракета с паровым сердечником смешивает паробразное топливо и топливо вместе, а затем отделяет топливо, чтобы его можно было выбросить для тяги. Энергия эффективно передается от топлива к ракетному топливу за счет прямого молекулярного столкновения, теплового излучения и прямого осаждения фрагментов реакции. Проиллюстрированная конструкция с открытым циклом достигает этого за счет вращения плазменной смеси в вихре, поддерживаемом тангенциальным впрыском предварительно нагретого топлива из стенок реактора. Более плотный материал удерживается снаружи цилиндрического корпуса реактора центробежной силой. Затем топливо охлаждается в теплообменнике и рециркулируется для повторного впрыска в переднюю часть реактора, в то время как топливо выбрасывается с высокой скоростью. Для реакций деления внешнее кольцо вихря представляет собой жидкое урановое топливо высокой плотности, а топливо низкой плотности барботируется к центру, достигая температуры до 18500 К. Замедлитель  $\text{BeO}$  возвращает много реакционных нейтронов в вихрь. Поддержание критической массы топлива при турбулентном потоке воды или водородного топлива требует усовершенствованных исполнительных механизмов с быстрой обратной связью. Поскольку активная зона расплавилась, скорость реакции должна поддерживаться за счет изменения плотности топлива, а не за счет регулирующих стержней или барабанов. Для реакций с антивеществом вместо урана используется закрученный жидкий вольфрам (толщиной около 4 см) для поглощения жесткого рентгеновского излучения. Для термоядерных реакций это топливо более холодное и имеет большую плотность, и, таким образом, именно реагирующий топливный шар находится в центре вихря.

### Z3. Карты Робонавтов

Вместо того, чтобы являться роботами, которые полагаются на собственный запрограммированный интеллект для принятия решений, «робонавты» — это механические аватары, дистанционно управляемые человеком. Этот термин был создан для игр. Мотивация проста: работа в скафандре дорога, опасна и неудобна. Выгоднее поместите человека в среду без рукавов на ближайшей космической станции, оставив время для перерывов на пилу и рекреационный секс, в то время как робонавт будет заниматься разведкой, обслуживанием радиаторов, подъемом тяжестей, добычей полезных ископаемых и строительством / обслуживанием нефтеперерабатывающего завода. Космическая станция с оператором должна быть довольно близко, поскольку каждая а.е. расстояния добавляет более 16 минут времени задержки, на то, чтобы сигнал дошел до человека и обратно со скоростью света.

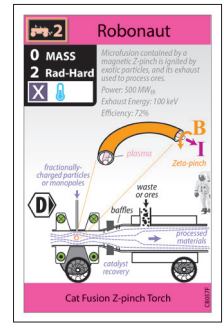


**Абляционный лазерный робонавт (Ablative Laser Robonaut)** – ракеты могут приводиться в движение мощными кратковременными (<10–10 с) лазерными импульсами, сфокусированными на твердом топливе. Используется двух импульсная система, в которой один лазерный импульс абляцирует материала и второй лазерный импульс дополнительно нагревает абляционный газ. Топливо с низким Z, такое как графит, обеспечивает наилучшую экономию топлива (4 сек). Первичное и вторичное зеркала фокусируют лазерные импульсы при освещенности  $3 \times 10^{13} \text{ Вт/см}^2$ . Скорость удаления массы составляет 3,0 мкг за лазерный импульс. Приведенный в действие лазерным лучом мощностью 60 МВт, абляционный лазерный двигатель имеет тягу 2,4 кН, а с топливом, настроенным на последовательность запуска, и эффективной формой двойного импульса общий КПД составляет 79%. — Д-р Андрей В. Пахомов, ИАН, Удельный импульс и другие характеристики элементарного топлива для абляционного лазерного движения, 2002.

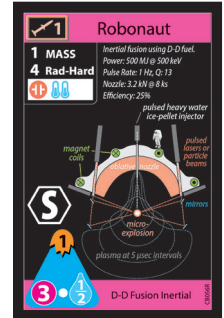


**Лазерный робонавт с накачкой абсолютно черным телом (Blackbody-pumped Laser Robonaut)** — использует источник тепла реактора для нагрева излучателя абсолютно черного тела, который сильно излучает на определенных длинах волн, которыми можно накачивать лазерные материалы. Лазерные материалы, которые перекрывают излучение черного тела при температуре от 2000 до 3000 К, включают кристаллы, такие как Nd:YAG (алюмоиттриевый гранат, легированный ионами неодима) (1060 нм), газы, такие как йод, или волокна, такие как литий-лантанид-фтор, легированный эрбием (1530 нм). Эти материалы находятся внутри «горячей трубы» для повторного использования тепла. В некоторых конструкциях используется дифракционная решетка для извлечения желаемых длин волн из спектра абсолютно черного тела. Реактор с жидкой активной зоной, использующий расплавленный уран, может поднять температуру черного тела до 4200 К. Хорошо подходит для этого спектра титан-сапфировый лазер, работающий при 450 К с КПД 40%. Реактор с газовым сердечником нагревает черное тело до 19 000 К, что подходит для ксенон-фторидного газового лазера (350 нм), работающего при 800 К с эффективностью 39%. Лазер черного тела имеет довольно большую длину волны, поэтому используется удвоение частоты, чтобы избежать использования огромной оптики, которая в противном случае потребовалась бы для преодоления огромных расстояний в космосе. — Маллик К. (Matterbeam), Лазеры ядерных реакторов: от деления к фотону, 2019.

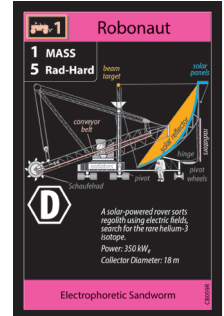
**Cat Fusion Z-pinch Torch Robonaut** — плазменная горелка, работающая на катализируемом синтезе, может использоваться при очистке руды или переработке отходов. Синтез происходит в дзета-пинче, быстроимпульсном плазменном фокусирующем устройстве высокой плотности с использованием ванадиево-галлиевых (V3Ga) сверхпроводников и алюминиевых стабилизаторов. Удерживающей силой дзета-пинча является «самогенерируемая» магнитное поле (поле, создаваемое электрическими токами в самой плазме). Электрический ток в мегаамперах (I) направлен в дзета, а результирующее магнитное поле (B) — в тета-направление. Различные гипотетические экзотические частицы катализируют слияния DT и DD. Утечка катализатора сведена к минимуму за счет конфигурации Z-пинча, но усиливается ниже по потоку за счет высокотемпературных поэтапных каскадов модулированных сортирующих нанороторов, которые сами постоянно разрушаются и восстанавливаются.



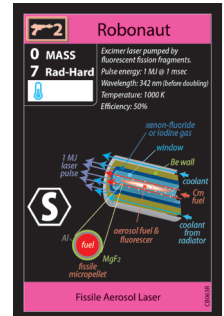
**D-D Inertial Fusion Robonaut** — цель из термоядерного топлива может быть доведена до воспламенения за счет инерционного удержания: процесса сжатия и нагрева топлива лучами энергии, поступающими со всех сторон. Снежинка дейтерия, тяжелого изотопа водорода, может быть взорвана и слита с помощью комбинации лазеров и пучков частиц дейтерия. В проиллюстрированной конструкции используется комбинированная входная энергия луча в 38 мегаджоулей, расположенная в виде кольца, окружающего выброшенную мишень в виде ледяного шара. Эта энергия работает с частотой 1 Гц, чтобы взорвать 2-граммовую ледяную гранулу, выбрасываемую каждую секунду. Продукты T и 3He катализируются для дальнейшего синтеза, пока не останетсь только водород, гелий и некоторое количество нейтронов. (Нейтроны составляют 36% энергии реакции.) Коэффициент выигрыша в энергии (Q) равен 13. Для реактора мощностью 500 МВт образуется 320 МВт заряженных частиц, которые можно использовать непосредственно для тяги или рафинирования металлов. Около 105 МВт быстрых нейтронов улетает в космос, но еще 75 МВт из них перехватываются конструкцией. При использовании в качестве ракеты используется абляционное сопло, состоящее из вложенных друг в друга слоев нитевидного графита, масса которого считается топливом и теневым экраном. - Р. Хайд, Лазерная термоядерная ракета для межпланетного движения, 34-я Международная астронавтическая конференция, AIAA Paper 83-396, Будапешт, Венгрия, 1983 г. (Чтобы контролировать массу излучателя, я уменьшил частоту повторения гранул со 100 Гц до 1 Гц).



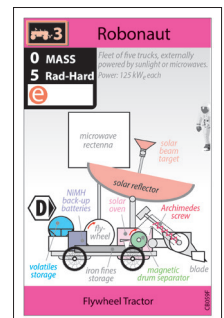
**Электрофоретический червь-робонавт (Electrophoretic Sandworm Robonaut)** — изображенная горнодобывающая машина, называемая песчаным червем, предназначена для дегазации реголита. Он состоит из лопастного колеса и конвейерных лент для транспортировки материала к центральному бункеру, который содержит устройство для повышения давления почвы, мельницу и нагреватель, сепаратор твердого вещества и пара, мешок для сбора летучих веществ и газоочистку. Солнечный концентратор поворачивается, чтобы концентрировать солнечный свет на целевом тепловом двигателе. Термин «песчаный червь» вдохновлен огромными червями, которые появляются в романах Фрэнка Герберта, которые фильтруют огромное количество песка для крошечного количества ценной «пряности». Здесь «приправой» является гелий-3, вещество, не встречающееся на Земле, но присутствующее в крошечных количествах в астероидном и лунном реголите. Гелий-3 необходим для чистой реакции синтеза 3He-D и, таким образом, в будущем может стать более ценным, чем нефть. После магнитного удаления железа оставшийся реголит обрабатывается в электрофоретическом резервуаре зоны высокого напряжения. (Электрофорез обогащает заряженные частицы в электрическом поле в соответствии с величиной и знаком электрофоретической подвижности.) 30-тонный песчаный червь изображенного размера работает с мощностью 350 кВт, полученной от мощности луча (с использованием луча мощностью 12 МВт). Он будет перерабатывать 9 миллионов тонн реголита в год, производя 110 тонн воды (топливо), 200 тонн водорода (топливо) и 33 кг гелия-3 (топливо). — На основе модели академика NASA Gajda Mark



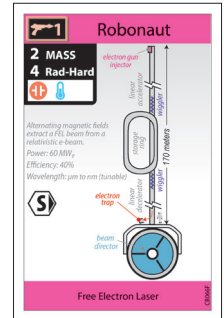
**Расщепляющийся аэрозольный лазер-робонавт (Fissile Aerosol Laser Robonaut)** — это эксимерный лазер с накачкой продуктами деления вместо электронных лучей. Делящиеся частицы микрометрового размера выдерживаются при высоких температурах и окружены замедлителем. Их выход поражает газовые смеси йода с образованием эксимеров I<sub>2</sub><sup>\*</sup>. Они возвращаются в свое стабильное состояние, испуская фотоны определенной длины волны посредством флуоресценции. Импульсы с энергией 1 МДж и длительностью 1 мс производятся на длине волны 342 нм. Эффективность преобразования составляет 50%. Отработанное тепло уменьшается за счет использования полированного алюминия, действующего как УФ-зеркало. Общая высокотемпературная работа позволяет отводить тепло при 1000 К. - Прелас, Буди, Зедикер, Ядерный реактор с аэрозольным сердечником для космических лазеров высокой энергии / мощности с ядерной накачкой, 1985.

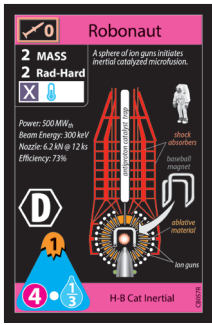


**Робонавт-тягач с маховиком (Flywheel Tractor Robonaut)** — парк из полудюжины колесных карьерных самосвалов. Каждый из них способен зачерпывать и перевозить 120 тонн железной мелочи или летучих веществ в год по пересеченной местности с использованием двигателя-маховика мощностью 6 МВт (8500 л.с.). Зарядка маховика активный нейтронный спектрометр улавливает сигналы водорода, указывающие на ледяные отложения или кристаллы. Шнек прорывает реголит, который использует ударную дробилку и сита для разрушения агглютинатов. Начиная с производительности реголита 7 т/ч, магнитный сепаратор Tesla может отделить 11 кг/ч свободного железа, зерен ильменита титана и магнитных оксидов железа, кобальта и никеля. Если требуются летучие вещества, потребуется большой солнечный концентратор, чтобы выжечь кристаллы льда из реголита. — Дэйв Дитцлер www.moonminer.com.

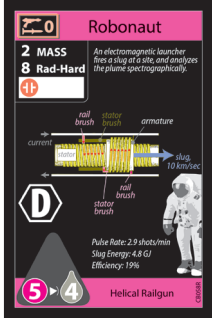


**Робонавт с лазером на свободных электронах (Free Electron Laser Robonaut)** — интенсивный и быстро меняющийся набор статических магнитных полей, называемый «вигглер» может эффективно преобразовывать энергию релятивистского электронного пучка в когерентные фотоны. Это основа лазера на свободных электронах (ЛСЭ). Показан ЛСЭ мощностью 125 МВт с 80-метровым ускорителем электронов. Ускорение может быть непрерывным с использованием резонансных электрических резонаторов, питаемых высокочастотной электрической энергией, или может быть импульсным с набором микроволновых «преобразователей», которые используют электронный луч в качестве эффективной вторичной обмотки. Длина волны настраивается в диапазоне 300 нм с периодическими импульсами. Электроны тормозятся и рециркулируют. Преобразование электрической энергии ЛСЭ в энергию света чрезвычайно эффективно (всего 40%).

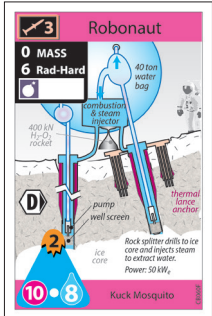




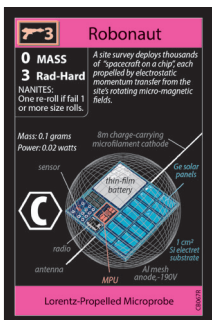
**Инерционный робонавт H-B Cat (H-B Cat Inertial Robonaut)** — синтез водорода и бора-11 — это чистая реакция, высвобождающая только альфа-частицы с энергией 300 кэВ, которые можно направить под действием магнитного поля. Полученные экзотические атомы могут сплаиваться при «холодных» температурах, что позволяет перерабатывать экзотические катализаторы. Вторая возможность состоит в том, чтобы использовать катализируемое антипротонами микроделение для инициирования синтеза H-11В. Если сто миллиардов антипротонов с энергией 1,2 МэВ в импульсе длительностью 2 нс выстреливают в цель из трех граммов H-11В:235U в молярном соотношении 9:1, микроделение урана иницирует H-11В и высвобождает 20 ГДж энергии. Работая на частоте одна пятая герца, водород и бор 11, реагирующие со скоростью 145 мг/выстрел, производят 2000 МВт. Масса выбрасываемого снаряда за выстрел составляет 2,4 кг. Катализируемый термоядерный синтез обладает превосходным тепловым КПД (86%) и, следовательно, хорошим отношением тяги к весу, что делает его одним из лучших двигателей в игре. Удельный импульс колеблется от 8 до 16 ксек, в зависимости от того, используются ли спин-поляризованные свободные радикалы в качестве водородного топлива. — *Г. Gaidos, et al., Antiproton-Catalyzed Microbasis/Fusion Propulsion Systems for Exploration of the Outer Solar System and Beyond, Pennsylvania State University, 1998. уменьшена с 1 Гц до 0,2 Гц и с 302 ГВм до 2 ГВм.*



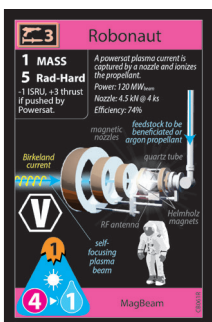
**Спиральный робонавт-рельсотрон (Helical Railgun Robonaut)** — традиционный рельсотрон представляет собой однооборотный контактный линейный двигатель, ограниченный индуктивностью рельсов. При большом ускорении необходимый большой ток и щеточный контакт нагревают рельсы, что значительно ограничивает их срок службы. Скручивая рельсы по спирали (с соответствующими витками якоря и снаряда), можно достичь более высоких ускорений при незначительной доле тока. В режиме разведки спиральный рельсотрон стреляет 1-тонным металлическим снарядом по потенциальному месторождению полезных ископаемых. При выводе снаряда на высокоэллиптическую суборбитальную траекторию снаряд сталкивается со скоростью 10-70 км/сек, составляющей долю скорости пуска. Полученный шлейф анализируют спектрографически для определения содержания. Большой кратер затем можно использовать в качестве начала любой операции по добыче полезных ископаемых открытым способом. В режиме двигателя его конденсаторные батареи заряжаются в течение нескольких дней, прежде чем выпустить один высокоимпульсный снаряд, состоящий из грунта вместе с арматурой, которая не восстанавливается. — *Энгель, Наннелли и Нери, «Прогресс исследований в области разработки высокоэффективной электромагнитной пусковой установки со спиральной катушкой среднего калибра», 2004 г. Возродлено миссией LCROSS.*



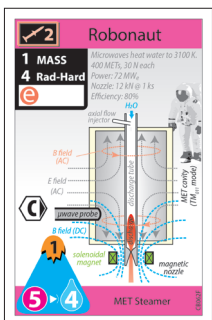
**Kuck Mosquito Robonaut** — по мере того, как ледяные спящие кометы или астероиды D-типа нагреваются солнцем, они накапливают внешний безводный слой. Горный робот-робонавт под названием Kuck mosquito предназначен для бурения этого слоя, подачи пара и откачки воды из керна. Часть воды подвергается электролизу в качестве топлива для небольшого химического двигателя H2-O2. Термические копы используются для впаивания в субстрат и надежного закрепления. Тела-мишени должны иметь лед в кометной матрице не менее 30%. Существует опасность катастрофического разрушения, если подповерхностный слой мантии слишком слаб, чтобы сопротивляться силам растяжения, создаваемым повышением давления. — *Дэйв Кук, «Использование космических оазисов», Принстонская конференция по космическому производству, Институт космических исследований, 1995 г.*



**Микрозонд Lorenz-Propelled Microprobe Robonaut** — рой крошечных зондов можно отправить в отдаленные места, используя силу, возникающую в результате движения заряженной частицы перпендикулярно линии магнитного поля (в данном случае Земли). Каждый зонд будет состоять из длинного электрически заряженного (+10 В) микрофиламента (радиусом 10 мкм), по существу действующего как часть магнитного паруса, который медленно в течение многих лет ускоряет его к цели. Два простых маломощных электростатических микродвигателя обеспечивают небольшую коррекцию курса. Анод представляет собой клетку Фарадея, заряженную до -190 В для защиты электроники зонда. Клетка сбрасывается по прибытии. В чип зонда интегрированы солнечная панель, датчик и микропроцессор. Каждый датчик в рое будет выполнять разные задачи (например, обнаруживать гидратацию, проводить температурные или химические испытания) и передавать его результаты. Зонды достаточно крепкие, чтобы выдержать прямое воздействие на целевое тело, что позволяет проводить отбор проб с поверхности. Даже если до 90% зондов будет утеряны или неисправны, их будет достаточно для детального анализа места. — *Атчисон и Пек, Космический корабль с двигателем Лоренца миллиметрового масштаба, 2007 г.; <http://www.popsci.com/military-aviation-space/article/2007-08/mmmm-space-chips>.*

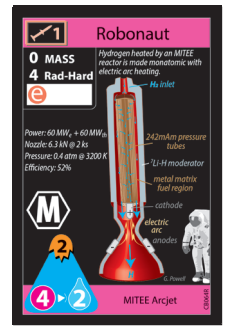


**MagBeam Robonaut** — ток может распространяться в пространстве в виде самофокусирующегося плазменного луча, называемого поток Биркеланда. Дифференциальное движение между ионами и электронами в MagBeam создает токи и магнитные поля, так что магнитное поле, в котором рождается плазма, остается с плазмой, образуя собственную линию передачи. Магнитное поле постоянно расширяется, удерживая поток ионов сфокусированным. Если он производится источником геликоновой плазмы на электростанции, он может быть перехвачен для переработки полезных ископаемых или тяги космическим кораблем, оснащенным небольшим количеством газа в качестве топлива, такого как аргон или ксенон, источником питания и набором электромагнитов для производства энергии для минимагнитосферного магнитного паруса. Перехваченный луч ионизирует аргон в парусе, который ускоряется для тяги. Параметры для достижения дельта-v 20 км/сек: плотность пучка  $2 \cdot 10^{13}$  /см<sup>3</sup>, скорость 30 км/сек, масса робота 10 т, масса топлива 7 т, двигатель мощностью 300 мВт с удельным импульсом 4 кс и время взаимодействия 4 часа. Недостатки системы в качестве двигателя заключаются в том, что электростанция должна иметь килотонны конденсаторов для хранения необходимой энергии, луч имеет ограниченную дальность действия, позволяющую разогнаться только в течение нескольких часов, и в пункте назначения должна быть еще одна такая станция для замедления ракеты. — *Г. А. Лэндис, Межзвездный полет с помощью пучка частиц, 2004 г.*

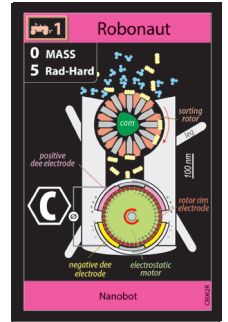


**MET Steamer Robonaut** — это устройство работает, генерируя микроволны в цилиндрической резонансной полости, заполненной топливом, тем самым вызывая плазменный разряд. Выброс выполняет либо копательную, либо толкающую функции. В своей добыче полезных ископаемых голова использует сфокусированную энергию, настроенную для близкого расстояния местными микроволновыми проводниками, на различные частоты, предназначенные для резонирования и разрушения определенных минералов или льда. В качестве электротермического двигателя плазма, поддерживаемая микроволнами, перегревает воду, которая затем термодинамически расширяется через магнитное сопло для создания тяги. MET могут достигать удельного импульса 0,9 кс из-за высоких (8000 К) температур источника нагнетания. Однако удельный импульс в конечном итоге ограничивается максимальной температурой (~ 2000 К), которую могут поддерживать стенки двигателя. На рисунке показан микроволновый плазменный разряд, созданный путем настройки режима для работы с согласованным импедансом. Везде используется регенеративное водяное охлаждение. При давлении 45 атм каждый блок может создавать 30 ньютонов тяги. Тяга состоит из 400 таких блоков по 50 кг каждый. — *Джон Л. Пауэр и Рэндалл А. Чепмен, Разработка мощного микроволнового двигателя с магнитным соплом для космических приключений, Исследовательский центр Льюиса, 1989 г.*

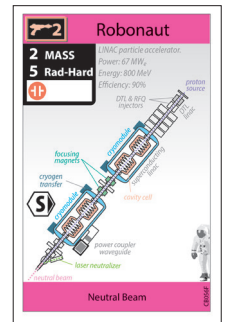
**MITEE Arcjet Robonaut** — рабочая жидкость, такая как водород, может быть нагрета до 12 000 К с помощью электрической дуги. Поскольку передаваемые температуры не ограничиваются точкой плавления вольфрама, как в электротермическом двигателе с твердым сердечником, таком как резистореактивный двигатель, электродуговой реактивный двигатель может гореть в четыре раза горячее. Однако торированные вольфрамовые электроды необходимо периодически заменять. При использовании в качестве электротермического двигателя дуговой двигатель работает при низких давлениях, позволяя топливу диссоциировать на одноатомный водород, увеличивая удельный импульс до 2 кс с эффективностью замороженного потока 52%. Тяга увеличивается за счет гибридной конструкции с реактором MITEE, сборкой из 37 отдельных бериллиевых нагнетательных трубок, каждая из которых содержит внутреннее ядро, окруженное внешним замедлителем из гидрида  $7Li$ . Холодное водородное топливо течет радиально внутрь через область топлива толщиной 1 см, где оно предварительно нагревается до температуры более 3200 К перед входом в электродуговой двигатель. При использовании для обогащения полезных ископаемых реголит или руда сначала обрабатываются с помощью магнитного сепаратора 1Т и ударной дробилки (3,5 тонны), а затем испаряются с помощью электродуговой сварки MITEE. — Дж. Пауэлл и Дж. Паниагуа, *Легкая космическая двигательная установка с высоким удельным импульсом (1000 с). Семейство компактных сверхлегких ядерных тепловых двигательных установок MITEE для исследования планетарного космоса, 1999.*



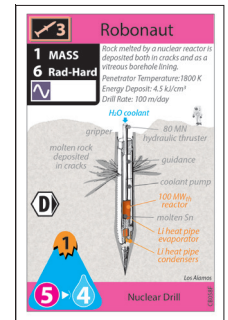
**Nanobot Robonaut** — для обогащения руды можно использовать армию нанореголита и машин для сбора руды. Молекулярные ассемблеры будут использовать наноструктуры, очень похожие на ферменты, для работы с реактивными молекулами. Механические нанороботы, основанные на биомиметической мягкой нанотехнологии, могут на самом деле включать молекулы биологических белков (ферменты и рибосомы), чтобы выполнять часть своей работы. Изображенный нанобот использует ноги, приводимые в движение гармоническим приводом. Гармонические приводы используют пару дислокаций, приводимых в движение генератором волн, движущихся вдоль внутренней поверхности нанотрубки для деформации гибкого стержня. Каждый оборот генератора волн поворачивает гибкую ось на два зубца относительно окружающего шлица сверла. Сортировочный ротор выбирает желаемую атомную форму, такую как гелий-3. Эти функции приводятся в действие наноэлектростатическим двигателем, который работает по принципу генератора Ван дер Граафа, работающего в обратном направлении. — К. Эрик Дрекслер, *Наносистемы, 1992.*



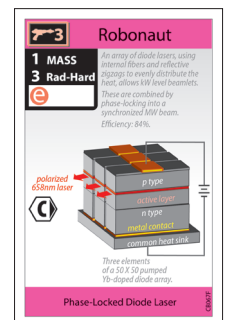
**Neutral Beam Robonaut** — пучки ионов легко ускорить, но их необходимо нейтрализовать в космосе, иначе их взаимное электрическое отталкивание быстро рассеет луч. (Кроме того, дуга уничтожит робонавта.) Ускоренные ионы заряжены отрицательно, что дает более высокую эффективность нейтрализации, чем положительные. Нейтральные пучки водорода или дейтерия, работающие в импульсном режиме до 800 МэВ, обладают большей мощностью, чем лазеры, что делает их полезными в горнодобывающей промышленности или в бою. Их также можно вводить в термоядерные реакторы как для нагрева плазмы, так и для пополнения сгоревшего топлива. Если необходим плазменный вихрь, нейтральный пучок вводится в камеру вне оси. В показанной конструкции используется Н-источник высокой яркости Дудникова с радиочастотным квадрупольным инжектором. Ступень ускорителей с дрейфовыми трубками Альвареса с резонансной связью увеличивает энергию пучка до 85 МэВ. Ступень сверхпроводящего линейного ускорителя увеличивает энергию ионов до 600 МэВ без чрезмерного увеличения эмиттанса пучка (10-8 м-рад). Луч очень точно фокусируется на мишени с помощью магнитной оптики, направляющей луч, а затем проходит через нейтрализующую ячейку лазерного фотоотщелачивания, чтобы удалить лишний электрон. — Мартин Райзер, *Теория и конструкция пучков заряженных частиц, 1994.*

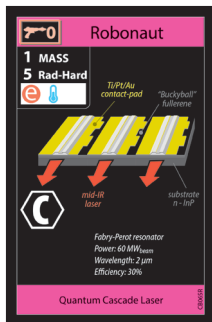


**Ядерная буровая установка (Nuclear Drill Robonaut)** — разработка шахт и бурение скважин являются краеугольным камнем любой эффективной операции ISRU. Однако требования к мощности и массе быстро возрастают по мере того, как шахта проходит на большую глубину и в более твердые породы. При температуре плавления базальта порядка 1500 К для плавления породы может быть использовано 4,3 кДж/см<sup>3</sup> энергии (по сравнению с 2-3 кДж/см<sup>3</sup>, необходимыми для вращательного бурения). Используя тепловую трубу, тепловая энергия от ядерного реактора передается на буровую головку, поддерживая ее выше температуры плавления породы. Полость тепловой трубы покрыта капиллярной структурой, которая непрерывно транспортирует рабочую жидкость от холодного конца к концу источника тепла. Замкнутый цикл испарения/конденсации обеспечивает значительную теплопередачу даже при минимальной разнице температур между горячим и холодными концами. Выпуск горячей жидкости может позволить бурю работать как поддувающее устройство. Под тепловым напряжением скала на стенке скального забоя растрескается, но за счет приложения механического давления через устройство для проходки туннеля расплавленная порода на буровой головке затем вдавливается в трещины, укрепляя стены туннеля (боковое выдавливание). Давление обеспечивается гидравлическими толкающими трубами, способными создавать усилие 80 000 кН. — Д. Армстронг, Б. Макинтир и др., *Метод и устройство для прокладки туннелей плавлением, патент США, 1972 г.*



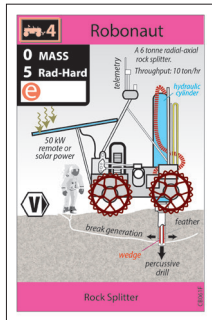
**Диодный лазер с фазовой автоподстройкой частоты (Phase-Locked Diode Laser Robonaut)** — использование твердотельного чипа позволяет получить 1/3 тепла на ватт выходной мощности за счет согласования спектра тепловыделения с линиями поглощения диода. Однако мощность диодных лазеров обычно ограничена диапазоном 100 мВт или они должны работать с широкой расходимостью луча ( $> 10^\circ$ ) при большой апертуре. С внутренними волокнами и отражающими зигзагообразными пластинами тепло может быть более равномерно распределено по чипу, что позволяет увеличить мощность (10 с кВт) на луч. Чтобы достичь мегаваттного диапазона, необходимо объединить несколько лучей. Активная комбинация когерентных лучей с фазовой автоподстройкой использует конструктивную интерференцию многочисленных поляризованных элементов. Благодаря такой тщательной синхронизации начального числа каждого элемента по мере его накачки до высокой мощности качество луча остается постоянным, даже если элементы масштабируются до сотен. Эти лазеры имеют электронное управление и не требуют механических компонентов. — Г. Гудно, К. Асман и др., *Потенциал масштабирования яркости массивов твердотельных лазеров с активной фазовой синхронизацией, 2007 г.*



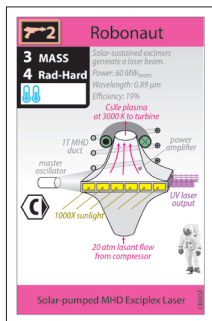


**Квантовый каскадный лазер (Quantum Cascade Laser Robonaut)** — минеральные зерна, вырывающиеся из подложки, могут быть фотоэлектрически заряжены с помощью твердотельных ИК-лазеров, таких как квантовые каскадные лазеры. После фотоэлектрического разделения их можно обрабатывать электрически, термически и химическими веществами для извлечения металлов и кислорода. Показанный квантово-каскадный лазер использует углеродные баки-трубки в качестве усиливающей среды в резонаторе Фабри-Перо. Каждый квантово-каскадный лазерный электрон падает в тысячи колодцев, производя фотон на каждом шагу. Этот электронный водопад значительно повышает эффективность, позволяя квантовым каскадным лазерам излучать гигаватт пиковой мощности в импульсном режиме и десятки мегаватт в непрерывном режиме. Длина волны изменяется путем изменения температуры баки-трубки. Для работы на больших расстояниях используется набор лазерных расширителей для точного наведения луча и уменьшения размера пятна.

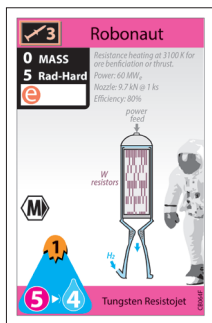
**Робонавт со скребковой дробилкой (Rock Splitter Robonaut)** — Горнорудное бюро разработало землеройную машину на гусеничном ходу, сочетающую в себе ударный бур, радиально-осевую дробилку и погрузчик на одной стреле. Система весит 6 тонн при требуемой мощности 50 кВт и производительности 10 тонн/час.



**Эксимерный МГД-лазер с солнечной накачкой (Solar-pumped MHD Excimer Laser Robonaut)** — УФ-лазер может накачиваться короткоживущими псевдомолекулами, называемыми эксимерами, которые стабильны только в возбужденном состоянии. Эксимеры формируются в цезиево-ксеноновой солнечной плазме, нагретой до 3000 К усиленным в тысячу раз солнечным светом, приобретающим в сопле сверхзвуковые скорости при 20 атм. Сопло является частью короткозамкнутого фарадеевского МГД-канала, который разделяет температуру электронов и газа в своем магнитном поле силой 1 Тл. Показанная система представляет собой импульсный эксимерный CsXe-лазер высокого давления с солнечной накачкой и объемом генерации 40 литров. Каждый лазерный импульс составляет 15 кДж УФ-излучения с длиной волны 0,8944 мкм. Частота 4 кгц и солнечный коллектор диаметром 540 м необходимы для получения непрерывного пучка мощностью 60 МВт. Приемная антенна может быть небольшой. Он может направить свою скромную мощность на космический корабль или в отдаленные районы Земли, которым нужна энергия. - Янг и др., Сравнение электрических лазеров для космической передачи энергии, 1988.



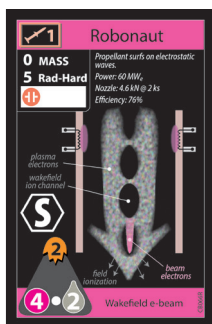
**Тungsten Resistojet Robonaut** — вольфрам, металл с самой высокой температурой плавления (3694 К), может использоваться для нагрева руды с электрическим сопротивлением для плавки или в качестве топлива для толкания. В последнем режиме резистоджет представляет собой электротепловую ракету с удельным импульсом 1 кс на водороде, нагретом до 3500 К. Эффективность замороженного потока составляет 85%. Внутреннее давление (1 атм). Для уменьшения омических потерь в теплообменнике используется конструкция высокого напряжения (10 кВ) и низкого тока (12,5 кА). Удельная мощность двигателя составляет 260 кг/МВт, а тяговооруженность - 8 мкг. По прибытии на место добычи вольфрамовые элементы вместе со стеной из керамических блоков (полученных на месте из реголита путем электролиза магмы) используются для строительства электрической печи. В сталеплавлении производстве необходимы печи сопротивления с вольфрамовым нагревом. Они используются для пескоструйной отливки железных плит из мелких частиц (магнитное отделение от реголита), переработки железа в сталь (с использованием углерода, импортированного с астероидов типа С) и удаления примесей кремния и серы (с использованием флюса CaAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, обожженного из лунного горного реголита).



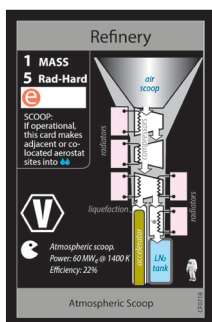
**Робонавт с электронным лучом Уэйкфилда (Wakefield e-beam Robonaut)** — электронный луч имеет множество применений. Он может просверливать отверстия в твердой породе (горнодобывающая промышленность), придавать скорость реакционной массе для создания тяги (ракетная техника), удалять материал в резальном станке с цифровым программным управлением (изготовление готовых деталей) или действовать как лазерный инициатор (лазер на свободных электронах). Ускорители Уэйкфилда длиной в несколько метров демонстрируют такое же ускорение, как и обычный ВЧ-ускоритель длиной в несколько километров. В электронном пучке с напряжением более миллиона вольт электроны движутся со скоростью света, поэтому используется термин релятивистский электронный пучок. При использовании в качестве электротермической ракеты он в принципе подобен дуговому двигателю, но гораздо менее разборчив в выборе топлива.

## 24. Карты перерабатывающих заводов

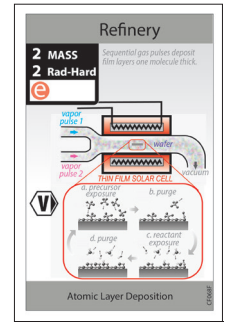
Беспощадность ракетного уравнения определяет, что каждый килограмм полезной нагрузки бесценен. Соответственно, материал, привезенный с миссии по добыче полезных ископаемых, должен быть тщательно очищен, чтобы исключить бесполезные отходы. Это означает, что большая часть обогащения полезных ископаемых должна происходить на нефтеперерабатывающем заводе на месте, а не, например, на каком-то центральном нефтеперерабатывающем заводе вблизи Земли. Согласно уравнению ракеты на каждый килограмм возвращаемого материала расходуется 2,7 килограмма воды. Если участок невероятно богат, скажем, 1% платиновых металлов, то если вы будете собирать горные породы без очистки, 99% того, что вы привезете, будут отходами. И вы израсходуете 271 килограмм воды на каждый килограмм возвращенной полезной руды.



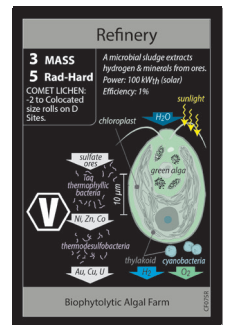
**Атмосферный перерабатывающий завод (Atmospheric Scoop Refinery)** — газовый ковш, пробитый через верхние слои атмосферы, может сжимать собираемые газы для использования в качестве топлива. Ковш должен компенсировать потерю импульса из-за лобового сопротивления, расходуя часть собранного газа на ракетную мощность. Предположим, что ковш приводится в движение электрической ракетой VASIMR и вращается вокруг Земли на высоте 200 км. Он протаранивает ковш через неподвижный воздух и разгоняет его до орбитальной скорости. Соответственно, скорость истечения ракеты (40 км/сек) должна быть больше орбитальной скорости (7,8 км/сек), чтобы набралось больше топлива, чем выброшено. Здесь удержание составляет (40 - 7,8)/40 = 80%. Ковш диаметром 30 м может собрать 47 тонн жидкого азота плюс 76 тонн жидкого кислорода в год. Сила сопротивления составляет всего 27 Н. Криоохладитель Стирлинга мощностью 52 кВт обеспечивает мощность, необходимую для сжатия и хранения топлива. - Райхель, Смит и Хэнфорд, Разработка электрических двигателей, 1962 г.



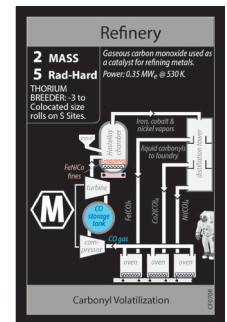
**Завод атомно-слоевого осаждения (Atomic Layer Deposition Refinery)** — два или более химических вещества в газовой фазе (прекурсоры) реагируют с поверхностью последовательно по одному. Каждый цикл может откладывать слой толщиной до 10 нм (10–12 м). Окончательная толщина пленки зависит только от количества циклов. Поскольку слои наносятся атом за атомом, процесс изготовления чего-либо значительного размера идет медленно. ALD используется в основном для производства микрочипов, необходимых для робонавтов и инопла-нетных фабрик. Тонкопленочные солнечные элементы также могут быть изготовлены с использованием местного аморфного кремния. Хотя эти солнечные элементы имеют более низкую эффективность, чем их более толстые собратья, они имеют более высокую удельную мощность. Они также более чувствительны к радиационному повреждению, быстро разрушаясь в присутствии ионизирующего излучения. — Г. Левитин, Д. Хесс, *Поверхностные реакции в технологии микроэлектроники, 2011*; Н. Вирш, Д. Доми и др., *Сверхлегкий аморфный кремниевый элемент для космических приложений, 2006* г.



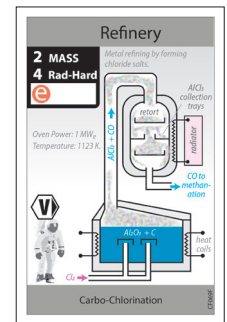
**Биофитолитический перерабатывающий завод на ферме водорослей (Biophytolytic Algal Farm Refinery)** — биофитолитиз (бактериальное выщелачивание) — это использование микроорганизмов для разрушения и очистки низко-сортовых руд и летучих веществ. Термофильные бактерии используются для извлечения никеля, цинка и кобальта. Бактерии, метаболизирующие серу, получают золото, медь и уран. В любом случае через руду капает слабые растворы кислот и образуется бактериальный раствор, который затем подвергают электролитической или химической обработке. Цианобактерии и зеленые водоросли, биоинженерно созданные для устойчивости к радиации и кислороду, будут окислять воду при комнатной температуре, производя водород и кислород. Этот процесс осуществляется фотосинтетическими ферментами, которые расщепляют воду для получения электронов, возбуждают эти электроны фотонами и в конечном итоге используют эти электроны для восстановления  $2H^+$  до  $H_2$ . Молекулярные комплексы, участвующие в опосредовании потока электронов из воды в реакции фиксации угле-рода или образования водорода, составляют фотосинтетическую цепь переноса электронов, обнаруженную в тилакоидных мембранах цианобактерий и зеленых водорослей. В качестве органического субстрата используется мякина с водорослевой фермы. Биофитолитические процессы не требуют много энергии, имеют теоретическую эффективность 40 %, но протекают медленно. — Г. Джеффри Тейлор и Линда Мартел, *Гавайский институт геофизики и планетологии, Гавайский университет, Разведка лунных и марсианских ресурсов, 2001* г.



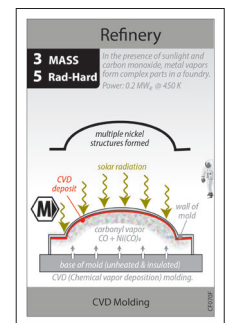
**Завод по испарению карбонила (Carbonyl Volatilization Refinery)** — газообразный монооксид углерода (CO) является катализатором улетучивания карбонила, что на сегодняшний день является самым простым способом очистки металлов в космосе. Руды никеля, железа, кобальта и других металлов, нагретые солнцем, реагируют с CO с образованием газообразных карбониллов, которые затем осаждаются из паровой фазы с помощью процессов CVD-формования или CVI-процессов пенного стереолита для формирования готовых материалов. Композиты из вспененного металла обладают огромной направленной прочностью и жесткостью и могут изготавливать многотонные сварные сосуды. CO может быть восстановлен с помощью другого цикла нагрева или восполнен путем нагревания (до 1300 K) практически любого известного типа астероидного материала. Используемые температуры и давления являются особенно мягкими для рафинирования никеля с помощью процесса Монда: карбонилы  $Ni(CO)_4$  образуются уже при 530 K. Остаток после экстракции карбониллов природных сплавов черных металлов на астероидах типа M очень богат кобальтом и платиновой группой (металлы, которые намного дороже золота). Кобальт, в свою очередь, может быть отделен от металлов платиновой группы экстракцией CO под очень высоким давлением, экстракцией смесями CO-H<sub>2</sub>O в виде карбонилгидрида или мокрыми химическими методами. — Джон С. Льюис и Мелинда Л. Хатсон, *Аризонский университет, Возможности астероидных ресурсов, предложенные метеоритными данными, 1993* г.

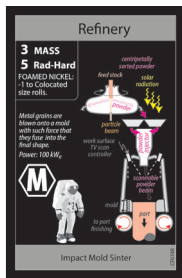
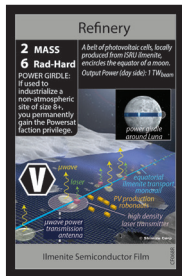
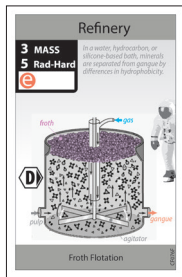
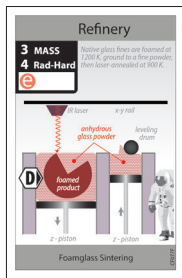
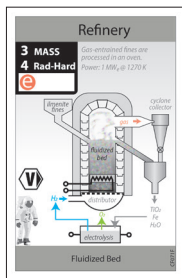
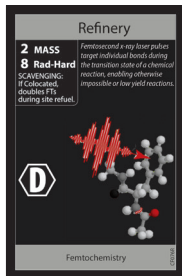
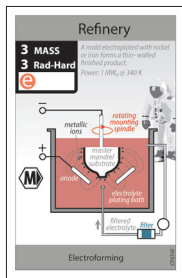


**Очистительный завод методом карбохлорирования (Carbochlorination Refinery)** — Сульфаты металлов могут быть очищены путем воздействия на смесь измельченной руды и угольной пыли потоков газообразного хлора. При умеренном резистивном нагреве (1123 K) в титановых камерах (Ti устойчив к воздействию Cl) материал превращается в хлоридные соли, (такие содержатся в морской воде), которые можно извлечь с помощью электролиза. Показанный пример представляет собой карбохлорирование  $Al_2Cl_3$  с образованием алюминия. Al ценен в космосе для изготовления проводов и кабелей (медь редко встречается в космосе). Электролиз  $Al_2Cl_3$  не расходует электроды и не требует цирконита. Однако из-за низкой температуры кипения  $Al_2Cl_3$  реакция должна протекать под давлением и при низких температурах. Другие элементы, получаемые карбохлорированием, включают титан, калий, марганец, хром, натрий, магний, кремний, а также (с использованием пластиковых фильтров) ядерное топливо уран-235 и торий-232) и пополняется за счет удаления реголита. — Дэйв Дитцлер.



**Формующий завод методом химического осаждения из газовой фазы (CVD Molding Refinery)** — конструкции с металлическими стенками и сложными металлическими деталями легко изготавливаются методом химического осаждения из паровой фазы (CVD). Прелесть CVD-формования в том, что для конечного продукта не требуется механической обработки. В частности, никель является самым легким черным металлом, полученным путем испарения карбонила, он прочен, пластичен, устойчив к коррозии, универсален и распространен в космосе. Процесс CVD распределяет пары карбонила никеля по слегка нагретой солнечной поверхности, где они разлагаются и осаждаются. Осаждение происходит при умеренных температурах (450 K) и высокой чистоте (менее 0,02% примесей углерода). Поток пара, состоящий из 90 % карбонила  $Ni(CO)_4$  и 10 % CO, создает формы с феноменальным выравниванием и заполнением углов. Если мелкие частицы представляют собой смесь никеля и железа, как в случае с астероидом типа M, образовавшиеся карбонилы будут смешаны, и будет осаждаться сплав Fe-Ni. Синтез карбониллов железа не так прост, как для никеля, требует более высокого давления и смеси углекислого газа и водяного пара. Непрореагировавшие газы должны быть переработаны, чтобы не тратить карбонил железа. Однако из-за почти мгновенной диссоциации ускользнувшего карбонила в вакууме необходима некоторая замена CO. — Уильям С. Дженкин





**Гальванопластический завод (Electroforming Refinery)** — металлические тонкостенные конструкции могут изготавливаться в ванне электролито-гальванического раствора путем наплавки металла на оправку, имеющую обратный контур. Робонавт контролирует плотность электрического тока в зависимости от скорости осаждения металла. Внеземные металлы, которые чаще всего осаждаются с помощью этого метода гальванопластики, включают никель и железо. Оправки изготавливаются из литого или формованного базальта с алюминиевым покрытием. Необходимость в растворе для электролитического покрытия требует, чтобы блок гальванопластики находился под давлением и работал только в ускоренном корпусе. Анодная пластина расходуется в процессе формовки, но для этой цели широко доступны лунное или астероидное железо и титан. Электролит рециркулируется. — Роберт Фреймас-младший из Space Initiative/XRI, *Proceedings of the 1980 NASA/ASEE Summer Study*.

**Фемтохимический завод (Femtochemistry Refinery)** — во время химической реакции связи внутри молекулы проходят через нестабильное переходное состояние, длящееся порядка пикосекунды (10-12). Используя фемтосекундные (10-15) лазерные импульсы, можно контролировать молекулы, когда они проходят переходное состояние, и даже влиять на путь, по которому они идут. Используя фемтосекундные импульсы с субангстремными (0,1 нм) лазерами, можно воздействовать на отдельные связи. В результате неблагоприятные или даже невозможные реакции могут стать возможными и с высоким выходом. Типы катализаторов для определенных реакций становятся более разнообразными и их легче производить. Кроме того, катализаторы с большей вероятностью можно восстановить, а экзотические катализаторы (которые обычно потребляются) часто можно повторно использовать для сотен реакций. Алхимия трансмутации антиматерии использует антиматерию и другие экзотические катализаторы для преобразования одного элемента в другой. Самая легкая реакция происходит, когда тяжелый металл бомбардируется антипротонами, что дает небольшое количество радиоактивных элементов более высокого порядка. Тщательно контролируя эту реакцию, можно инициировать небольшую цепную реакцию, приводящую к значительным выходам. Производство легких изотопов с использованием антипротонов в настоящее время исследуется. — Зевал Ахмед, *Фемтохимия, прошлое, настоящее и будущее, 2000*.

**Завод, работающий на принципе псевдооживленного наслоения (Fluidized Bed Refinery)** — жидкость (или газ) пропускается через гранулированную твердую руду (например, реголит) с достаточно высокими скоростями, чтобы взвесить частицы и заставить их вести себя так, как если бы они также были жидкостью. Тепло и перемешивание увеличивают скорость реакции. Мелкие частицы ильменита (зерна FeTiO<sub>3</sub>, электростатически отделяемые от лунного реголита) могут быть восстановлены в псевдооживленном слое с использованием горячего водорода (1270 K) или монооксида углерода для получения мелких частиц железа и частиц диоксида титана. В любом случае титан получают из реагентов кислотным выщелачиванием, карбонильным CVD или вакуумным высокотемпературным нагревом с последующим электролизом до металлического Ti в ячейках FFC Cambridge. Для финишной обработки детали из титана используются различные станки, в том числе шлифовальный станок, аппарат для электронной сварки, сверлильный станок, небольшой токарный станок и небольшой прокатный станок.

**Завод по спеканию пеностекла (Foamglass Sintering Refinery)** — натуральное стекло, образовавшееся в результате ударов астероидов, можно легко разделить с помощью электростатического обогащения. Образующееся в отсутствие водяного пара, это безводное стекло менее хрупкое и имеет прочность на растяжение при сжатии. Пеностекло — это легкое, но прочное стекло с очень мелкими порами, которое можно использовать вместо металла и керамики для конструктивных элементов. Сложные структурные компоненты и прототипы могут быть спечены. Спекание — это процесс, при котором тонкий порошок нагревают ниже точки плавления, заставляя их сцепляться друг с другом. Точечный источник тепла наращивает продукт слой за слоем. Учитывая исходные материалы высокой чистоты, конечный продукт имеет чрезвычайно высокое и однородное качество с абсолютным контролем пористости. Почти любая керамика, пластик или металл могут быть спечены по данной технологии.

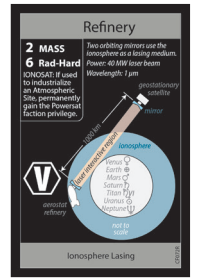
**Завод пенной флотации (Froth Flotation Refinery)** — в этом очень универсальном методе пузырьки воздуха используются для избирательного прилипания к определенным минеральным поверхностям в суспензии минерал/вода. Затем частицы с пузырьками воздуха всплывают на поверхность и могут быть сняты. Сульфиды, силикаты и металлические руды (включая цинк, железо, никель и вольфрам) могут быть разделены, сконцентрированы и извлечены с эффективностью более 95% за цикл. Гидрофобность, которая избирательно притягивает пузырьки воздуха, может быть естественной или вызванной химической обработкой неполярными маслами. За счет изменения pH, поверхностно-активных веществ, смачивающих агентов, активаторов, депрессантов и различных других реагентов можно избирательно флотировать широкий спектр соединений и минералов. Ограничивающим фактором при проведении пенной флотации в космосе является огромное количество требуемой воды, даже при рециркуляции сточных вод. Хотя возможны растворы не на водной основе (например, аммиак, углеводороды), они не так хорошо изучены.

**Завод ильменитовых полупроводниковых пленок (Ilmenite Semiconductor Film Refinery)** — из обычного лунного минерала ильменита (FeTiO<sub>3</sub>) можно производить фотоэлементы с эффективностью 10% (по сравнению с элементами из кремния с эффективностью 25%). Хотя реальная эффективность намного ниже, Shimizu Corp изучает, как ISRU-произвести пояс фотоэлектрических элементов полностью вокруг лунного экватора. Дневная сторона Луны производит TW энергии, которая излучается на Землю с ближней стороны. — Франклин Хэдли Кокс, *Потребность в энергии и изменение климата: вопросы и решения, 2009 г.*

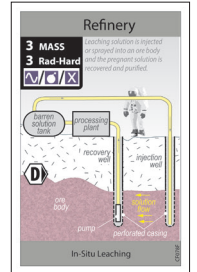
**Завод с ударно-спекаемым формованием (Impact Mold Sinter Refinery)** — Спекание — это метод изготовления предметов путем нагревания порошкообразного материала ниже его точки плавления до тех пор, пока частицы не прилипнут друг к другу. Металлические зерна, полученные, возможно, с помощью космических вакуумных процессов CVI или CVD, которые не подвержены загрязнению поверхности, последовательно вдвываются в ударную форму, изготовленную из спеченной керамики реголита. По мере накопления этих зерен на развивающейся заготовке они спекаются под действием энергии удара и сливаются при охлаждении. Вставные экраны используются для создания пустот и внутренних узоров. По мере изготовления деталь активно исследуется с помощью сканирующих электронных микроскопов или оптических датчиков, которые направляют луч в области, где поверхность шероховатая, слишком пористая или недостаточно заполненная. Затем детали перемещаются на станцию контроля для обрезки с помощью высокоэнергетического лазера и сборки с использованием электронно-лучевого сварочного аппарата. Детали обычно изготавливаются из системы никель/углеродное волокно, спеченной с небольшим количеством алюминия. Реакция создания алюминиды никеля сильно экзотермична, поэтому большая часть тепла реакции обеспечивает необходимую энергию для спекания. Деталь, изготовленная из алюминиды никеля, имеет жесткость и отношение прочности к весу, намного превосходящее титан, для температур значительно выше 770 K. Мелкие частицы железа и никеля также можно спекать ударным формованием. — Джордж Хансен, компания Metal Matrix Composites.



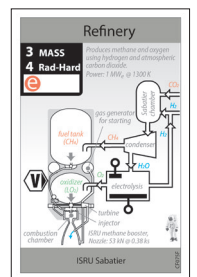
**Ионосферный лазер (Ionosphere Lasing Refinery)** — солнечный свет сохраняет инверсии электронных населенностей в ионосферах Венеры, Марса и (возможно) Сатурна. Если два орбитальных зеркала расположены так, что путь между ними пересекает эту часть атмосферы, сама атмосфера может генерировать лазер. Система из двух спутников размером, как показано, на расстоянии 1000 км друг от друга, вращающихся со скоростью 8 км/с и взаимодействующих с возбужденными молекулами весом в грамм, может достигать около 5 кДж в импульсе на частоте 8 кгц (средняя мощность 40 МВт). Это значительный уровень мощности для целей движения, переработки и вооружения. — Д. Деминг и М. Мумма, *Моделирование 10-микрометрового естественного лазерного излучения мезосфер Марса и Венеры, NASA TM-85045, NASA/Goddard, 1983.*



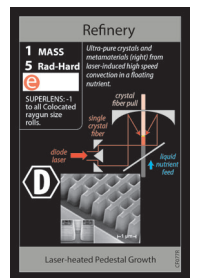
**Очистительный завод по выщелачиванию (In-Situ Leaching Refinery)** — процесс выщелачивания является продолжением процесса Kuck Mosquito Robonaut, применяемого для обогащения полезных ископаемых. После выявления потенциально богатой шахты на этом участке бурят скважины или используют взрывчатые вещества для фракционирования шахты, чтобы можно было закачивать сильные кислоты. Кислота (или щелочь в случае извлечения алюминия) растворяет полезные ископаемые (включая уран), так что насыщенный раствор затем выкачивается на поверхность для более легкого извлечения. Варьируя раствор для выщелачивания, можно избирательно извлекать различные минералы и драгоценные металлы. Этот метод обеспечивает значительную экономию массы, поскольку пропускаются этапы добычи, транспортировки, дробления, измельчения и разделения. На участках с низкой гидратацией применяют методы кучного и отвального выщелачивания, при которых выщелачивающий раствор наносят на измельченную руду на кислотоупорную выщелачивающую подушку. Недостатком является более низкая эффективность и риск загрязнения площадки в случае аварии. — С. Росс, *Добыча полезных ископаемых на околоземных астероидах, 2001 г.*



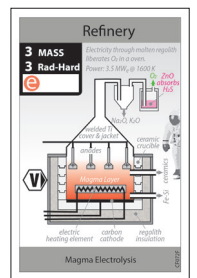
**Реактор Сабатье (ISRU Sabatier Refinery)** — реактор представляет собой небольшой легкий стальной цилиндр, который имеет смесительную камеру и камеру, заполненную никелевым катализатором. При заполнении водородом и атмосферным углекислым газом образуется вода и метан. (Аналогичный реактор Боша, использующий железный катализатор, производит элементарный углерод и воду.) Конденсатор удаляет водяной пар из продуктов реакции Сабатье. Конденсатор представляет собой простую трубу с выходами на дне для сбора воды; естественной конвекции на поверхности трубы достаточно для осуществления необходимого теплообмена. Электролиз воды извлекает водород для повторного использования. Эти реакторы ISRU (использование местных ресурсов) создают замкнутые водородно-кислородные циклы для жизнеобеспечения на базах с доступом к атмосферам CO<sub>2</sub>, таким как базы Марса или Венеры. Полученные метан и кислород можно использовать для питания химических ракет в ступенях подъема. Топливо CH<sub>4</sub>/O<sub>2</sub> с удельным импульсом 380 с является химическим ракетным топливом с самыми высокими характеристиками для хранения в космосе, которое можно легко изготовить в космосе. В отсутствие атмосферы установки ISRU могут производить H<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub> и CO путем нагрева паром измельченного углеродсодержащего астероидного материала до 1300 К в закрытом сосуде. В любом случае полученный элементарный углерод используется для изготовления нанотрубок с помощью электрофоретических методов (миграция в растворе заряженных коллоидов). Нанотрубки обладают более высокой электрофоретической подвижностью, чем частицы, и движутся к отрицательному электроду, ориентированному вдоль электрического поля. — К.П. Николс, *Bose Corporation, Углеродистые астероиды, 1993.*



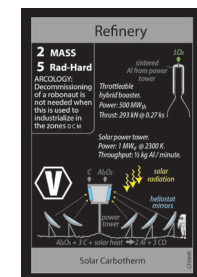
**Завод по выращиванию оснований с лазерным нагревом (Laser-heated Pedestal Growth Refinery)** — в этом методе выращивания кристаллов в качестве источника тепла используется диодный лазер CO<sub>2</sub> или YAG мощностью 10–100 кВт с питательным веществом, взвешенным в плавающей зоне. Жидкая фаза подвергается конвекции с высокой скоростью, в результате чего образуется кристаллическое волокно с высоким выходом. Эти очень чистые кристаллы могут проявлять уникальные свойства, такие как очень высокие температуры плавления при легировании редкоземельными металлами. Особый интерес представляет выращивание органо-неорганических композиционных материалов на основе золота для серийного производства метаматериалов - инженерных материалов, обладающих свойствами, невозможными в природе. Используя периодические элементы, размер которых меньше длины волны света, проходящего через них, можно контролировать электромагнитный отклик, что приводит к нулевому или отрицательному показателю преломления. Метаматериальные «суперлинзы» могут фокусироваться за пределами дифракционного предела света для субволновых антенн, маскировки микроволнового излучения и индуктивной передачи энергии на большие расстояния (затухание в 3-й степени вместо 6-й, используемой в индукционных катушках).

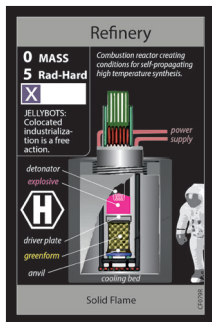


**Завод по электролизу магмы (Magma Electrolysis Refinery)** — этот завод плавит реголит с помощью солнечной энергии и пропускает электричество через расплав. Это высвобождает кислород на одном электроде и восстанавливает материал до более низкой степени окисления на другом. Флюс используется для снижения температуры плавления реголита примерно до 1600 К. 80-тонная установка электролиза магмы с производительностью 5000 тонн реголита в год и источником питания 3,5 МВт может производить 2000 тонн керамических и кремниевых блоков или теплозащитные экраны, 1000 тонн кислорода и сотни тонн железа, магния и кремния. Кремний может подвергаться зонной плавке (очистке) до высокой чистоты для солнечных панелей. Зонная плавка не требует химических веществ, которые должны быть доставлены с Земли, и будет легче выполняться в условиях низкой гравитации и вакуума в космосе, чем на Земле (где это должно выполняться в камерах, заполненных инертным газом, а стержни не могут быть использованы, потому что слишком массивны, чтобы не развалиться в расплавленной зоне). — Дэвид Диллер [www.moonminer.com](http://www.moonminer.com)

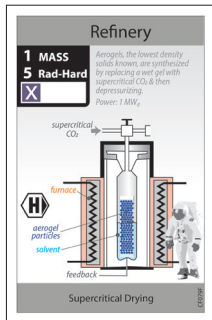


**Солнечный карботермический завод (Solar Carbothermal Refinery)** — альтернативой процессу карбохлорирования для очистки алюминия и кислорода является солнечный карботермический нагрев глиноземной руды солнечным излучением в присутствии углерода. Этот процесс не требует хлора, который редко встречается в космосе, а также использует солнечное тепло вместо электричества, которое потребляет меньше энергии, чем электролиз, поскольку энергия поступает непосредственно от солнечного излучения без неэффективного преобразования в электричество и кондиционирования энергии. Полученный алюминий и кислород можно использовать в качестве топлива для химических ускорителей Al-O<sub>2</sub>. В отличие от чисто твердотопливных ракет, гибридные ракеты (использующие твердое топливо и жидкий окислитель) можно дросселировать и перезапускать. При сгорании алюминия выделяется 3,6 МДж/кг. При КПД 77%, тяга 290 кН при удельном импульсе 0,27 кг. Соотношение масс для старта с Луны с помощью ракеты Al-O<sub>2</sub> составляет 2,3. Другими словами, требуется более чем в два раза больше топлива, чем полезной нагрузки.

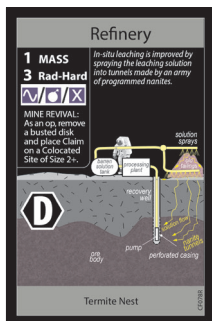




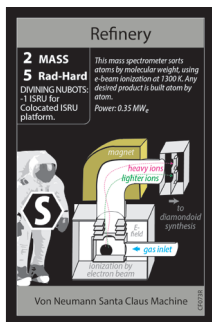
**Твердопламенный завод (Solid Flame Refinery)** — горение обычно рассматривается в контексте органических соединений, но экзотермическое горение, известное как самораспространяющийся высокотемпературный синтез, может поддерживаться с помощью комбинаций металлов и других неорганических веществ при очень высоких температурах и давлениях (10 с. МПа). Если все реагенты, промежуточные продукты и продукты представляют собой твердые вещества, такое пламя называется твердым. Два тонкодисперсных реагента, один из которых является окислителем, воспламеняются точно, вызывая медленно движущуюся волну горения, оставляющую за собой химически измененный «пепел». Варьируя соотношение материалов, гравитацию и скорость распространения волны, можно создавать такие материалы, как сверхпрочные покрытия из наномо-позитных сплавов, сплав Fe/Al/AL2O3-Cr для легких конструкционных материалов, TiB2-Si для высокопроводящих проводов и NiZn-Fe2O4 для электромагнитов. Эти материалы могут выполнять некоторые процессы «самовосстановления», герметизируя микротрещины и трещины.



**Завод сверхкритической сушки (Supercritical Drying Refinery)** — жидкость, находящаяся выше критической точки под воздействием высокого давления (МПа) и умеренной температуры (~300 К), ведет себя как газ, что полезно при производстве едва заметных твердых частиц, называемых аэрогелями. Если сверхкритическая жидкость (часто CO2) заменяет влажный гель, а затем сбрасывается давление, структура поверхностного натяжения геля сохраняется. Полученные аэрогели представляют собой твердые тела с самой низкой плотностью. Кремнеземные аэрогели обладают крайне низкой теплопроводностью (~4 мВт/м·К). Углеродные аэрогели могут использоваться для радиационной защиты благодаря их высокой способности внутреннего рассеяния. Их высокая электрическая проводимость делает их идеальными суперконденсаторами с удельной мощностью и энергией 20 кВт/кг и 325 кДж/кг соответственно. Аэрогели оксида алюминия легко легируются и используются в качестве высокотемпературных носителей катализаторов с большой площадью поверхности. Их высокая теплоемкость позволяет улучшить переработку расплава высокотемпературного сплава. — Поко, Сатчер, Хрубеш, Синтез высокопористых монокристаллических аэрогелей оксида алюминия, 2001.



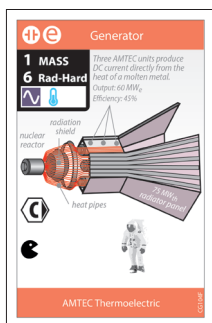
**Завод «Термитное гнездо» (Termite Nest Refinery)** — на нем используется армия нанитов для обнаружения и бурения отверстий в забоях, чтобы выщелачивание на месте могло происходить более эффективно. В нанитах используются простые алгоритмы клеточного автомата, использующие входные данные на основе проб материала и скорости потока для оптимизации обогащения. Эти наниты умеют извлекать полезную руду из остатков, выброшенных в результате предыдущих операций по добыче полезных ископаемых как нерентабельных, что является примером того, как усовершенствованная технология может оживить нерентабельный рудник.



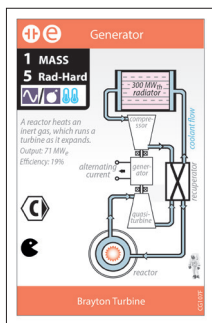
**Машина Санта-Клауса фон Неймана (Von Neumann Santa Claus Machine Refinery)** — великий математик Джон Нейман вообразил набор наномеханических сборщиков, работающих на локальных источниках энергии и материалах, которые используют датчики, интегрированные в центральный процессор, для выполнения определенных действий. широкий спектр механосинтетических операций, включая добычу полезных ископаемых. Сборщики — это молекулярные машины, которые можно запрограммировать на создание вещей из сырья, такого, которое легко добыть из углеродистого реголита. Электрофорез и магнитоплазменные системы разделяют этот реголит на основные элементы. Основными строительными блоками машин фон Неймана являются стержни из переплетенных алмазидных волокон. Алмазные структуры включают в себя широкий спектр полициклических органических молекул, состоящих из сплавленных, конформационно жестких клеток. Система включает в себя внутреннюю радиосвязь, хранилище данных проектирования на основе нечеткой логики и робота, который может разбирать неисправные двигатели, тестировать их и заменять новыми алмазидными компонентами, изготовленными на месте. Это устройство называют машиной Санта-Клауса из-за его способности делать все, что вы хотите, включая копии самого себя. Однако на практике самовоспроизведение значительно проще, чем самостоятельная сборка деталей. Изображенная машина (как проект с открытым исходным кодом RepRap 2009 года) может самовоспроизводиться, но для сборки полагаются на людей. — Джон фон Нейман, Теория самовоспроизводящихся автоматов, 1966.

## 25. Карты генераторов

Многие из двигателей в игре используют электроэнергию для ускорения топлива. Для этого им нужен генератор на солнечной или атомной энергии. Чтобы сделать генераторы модульными, они стандартизированы на 60 МВт. Конечно, системы жизнеобеспечения, роботы-робонавты, нефтеперерабатывающие заводы и т. д. также нуждаются в электричестве, но оно обычно меньше мегаватта, в отличие от электрических ракет в игре, которым требуется 60 МВт. Ракеты GW также нуждаются в генераторах, но для реактивного зажигания, а не для движения. 60 мегаватт электроэнергии, подаваемой для зажигания, ничтожны по сравнению с гигаваттами энергии деления или синтеза, когда реактор запускается. Некоторые генераторы импульсные, в них используются конденсаторы или маховики для накопления электричества и быстрого его высвобождения.

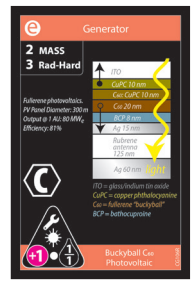


**Термоэлектрический генератор AMTEC (AMTEC Thermolectric Generator)** — термоэлектрический преобразователь на основе щелочных металлов (AMTEC) представляет собой термически регенеративное электрохимическое устройство для прямого преобразования тепла в электрическую энергию с использованием высоковольтных многотрубных модулей. Эти модули принимают тепло (солнечное или ядерное) при 900–1300 К и отводят при 400–700 К, производя постоянный ток с КПД 45% и без движущихся частей. Расплавленный щелочной металл (натрий или калий) движется по замкнутому термодинамическому циклу между источником тепла и радиатором, аналогично тепловому двигателю Ренкина. В цикле AMTEC пары щелочного металла расширяются через твердый электролит (бета-глинозем натрия), что вызывает его ионизацию. Таким образом, изотермическое расширение паров щелочи непосредственно преобразуется в электричество с удельной мощностью 100 кВт/м2 и 2 тонны/МВт. — М. А. Райан и Дж. П. Флершал, Прямое преобразование тепловой энергии в электрическую для космического корабля внешней планеты, Лаборатория реактивного движения, 2002 г.

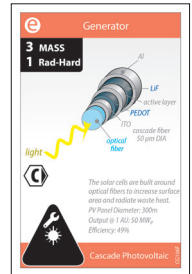


**Турбогенератор Брайтона (Brayton Turbogenerator)** — солнечный или ядерный источник тепла можно использовать для выработки электроэнергии по замкнутому циклу Брайтона. В отличие от цикла Ренкина, в котором рабочая жидкость меняет фазу, в цикле Брайтона используется инертный газ, такой как гелий, который расширяется с помощью турбины, производящей энергию, после чего он циркулирует через радиатор для охлаждения и повторного использования. Обычно нагретый гелий поступает в турбину при температуре 1700 К и давлении 24,5 атм. Жидкие флюиды, используемые в цикле Брайтона, имеют коэффициент теплоотдачи примерно в 50 раз ниже, чем газообразные флюиды, используемые в цикле Ренкина. В результате замкнутый цикл Брайтона имеет более низкий тепловой КПД (19% против 22%).

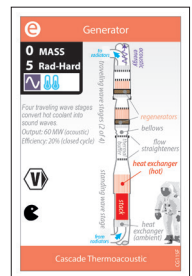
**Фотоэлектрический генератор Бакибол C60 (Buckyball C60 Photovoltaic Generator)** — молекула C60 Buckyball представляет собой фуллереновый углеродный аллотроп диаметром около нанометра, состоящий из 60 атомов углерода, расположенных в виде полый сферы. Он обладает полупроводниковыми и магнитными свойствами вплоть до температуры Кюри около 500 К. В аморфной форме Buckyball C60 представляет собой полупроводник с шириной запрещенной зоны 2,5 эВ. Путем интеркалирования примесей между Buckyballs проводимость может быть увеличена. Изображенное органическое фотогальваническое устройство использует генерирующие заряд слои фталоцианина меди (CuPc)/фуллерена (C60) поверх светопоглощающей антенны из рубрена. Поглощенное антенной излучение передается в зарядообразующие слои через поверхностные плазмонные поляритоны. Антенна настраивает резонатор на сильное поглощение света, повышая квантовую эффективность до 85%. Мембранные фотогальванические пленки C60, натянутые центробежным способом и поддерживаемые проволокой, имеют удельную площадь 1,5 кг/м<sup>2</sup> и соотношение мощность/масса, аналогичное лучшим современным тонкопленочным подложкам: 4 кВт/кг. — *Хайдель, Мапел, Челеби, Сингх и Бальдо, Анализ передачи энергии, опосредованной поверхностным плазмон-поляритоном, в органических фотоэлектрических устройствах, Proc. SPIE, 6656, 2007.*



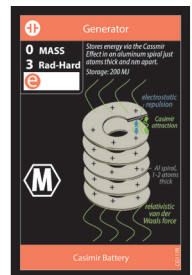
**Каскадный фотоэлектрический генератор (Cascade Photovoltaic Generator)** — фотоэлектрическое устройство генерирует напряжение, когда лучистая энергия падает на границу между разнородными веществами. Примером высокой эффективности является многопереходная каскадная ячейка, состоящая из комбинаций элементов из третьего и пятого столбцов таблицы Менделеева. Три соединительные ячейки, расположенные тандемно друг над другом, обеспечивают 50-процентную эффективность преобразования при концентрации солнечного излучения в 100 раз и при температуре 350 К. Если свет направлен по волноводу вниз по оптическому волокну (диаметром 50 мкм), покрытому оксидом индия-олова, диапазон поглощения значительно увеличивается. Пучки волокон действуют как собственные излучатели. Другие усовершенствования включают туннельные переходы с двойной гетерогенностью и широкой запрещенной зоной, точное согласование решетки с Ge-подложками и верхние ячейки AlInGaP с энергией 1,96 эВ. — *Тацуя Такамото, Минору Канейва, Мицуру Имаидзуми, Масафуми Ямагучи, Многопереходные солнечные элементы на основе InGaP/GaAs, Progress in Photovoltaics, Vol. 13, 2005.*



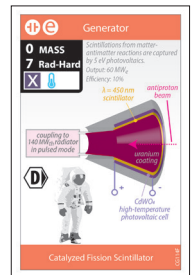
**Каскадный термоакустический генератор (Cascading Thermoacoustic Generator)** — две пары бегущих волн в линейном пространстве могут создавать акустическую мощность из тепловой энергии с высокой эффективностью (20%). В замкнутом цикле горячий хладагент из радиатора поступает в стоячую волну, который питает бегущую волну, производящий акустическую мощность 60 МВт. — *Д.Л. Гарднер и Г.В. Свифт, 2003.*



**Генератор заряда, основанный на эффекте Казимира (Casimir Battery Generator)** — сила Казимира-Полдера — это релятивистская запаздывающая сила Ван-дер-Ваальса между двумя металлическими пластинами. Сила на единицу площади между пластинами стремится к нулю, когда альфа, постоянная тонкой структуры, стремится к нулю. В показанном нанотехнологическом аккумуляторе энергия хранится в алюминиевой спирали толщиной всего в 1 или 2 атома и на расстоянии нескольких нанометров друг от друга. Катушка заряжена положительно, так что электростатическое отталкивание между каждым контуром катушки уравновешивает притяжение вакуумных флуктуаций. — *Роберт Джаффе из Массачусетского технологического института, 2005 г.*



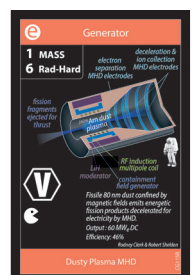
**Генератор на принципе деления сцинтиллятора (Catalyzed Fission Scintillator Generator)** — результатом реакции материи и антиматерии является ужасная мешанина из пионов и гамма-излучения, которую почти невозможно преобразовать в электричество. Одна из возможностей состоит в том, чтобы направить поток антипротонов на конический рецептор, состоящий из покрытого ураном сцинтиллятора. Деления, возникающие при столкновении, излучают свет, улавливаемый высокотемпературными фотогальваническими элементами CdWO<sub>4</sub> в следующем случе. Эти ФЭ работают в диапазоне 350 нм (5 эВ), преобразуя 10% пучка антипротонов в электричество. Излучатели, сопряженные со сцинтиллятором в импульсном режиме, отбрасывают 21% энергии. Хоу оценивает удельный вес в 6,6 тонны/МВтз, хотя в игре используется более оптимистичное значение 2 тонны/МВтз. — *Стивен Хоу, 2012 г.*

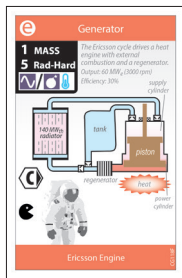


**Электродинамический трос-генератор (Diamondoid Electrodynamic Tether Generator)** — когда проводящий трос развертывается с космического корабля и пересекает магнитное поле планеты, в нем генерируется ток и тем самым преобразуется часть кинетической энергии космического корабля в электрическую энергию. В результате этого процесса на трос и привязанный объект действует электродинамическая сила, замедляющая их орбитальное движение. Дальний конец троса можно оставить оголенным, чтобы установить электрический контакт с ионосферой. Функционально электроны перетекают из космической плазмы в проводящий трос, проходят через резистивную нагрузку в блоке управления и эмитируются в космическую плазму эмиттером электронов в виде свободных электронов. Достижимы мегаватты мощности при использовании сверхвысокого космического вакуума как гигавольтный конденсатор. — *Винтерберг, 2008.*

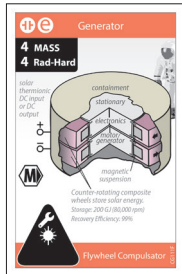


**Магнетогидродинамический генератор на пылевой плазме (Dusty Plasma MHD Generator)** — этот генератор производит электричество, замедляя ионный пучок продуктов деления. Это позволяет обойти ограничения цикла Карно и, таким образом, достигнуть вдвое большей эффективности тепловых двигателей. Ионы испускаются распадающимися частицами пыли размером 80 нм, взвешенными магнитными полями. Пыль увеличивает площадь поверхности в достаточной степени, чтобы обеспечить эффективное радиационное охлаждение. Замедление осуществляется серией МГД-электродов, генерирующих мощность постоянного тока 60 МВт при КПД 46%. — *Родни А. Кларк и Роберт Б. Шелдон, 2005 г.*

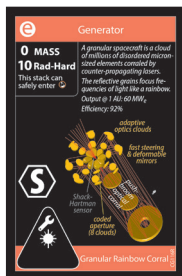




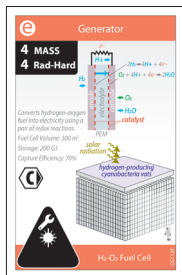
**Генератор Эрикссона (Ericsson Engine Generator)** — термодинамический цикл Эрикссона подобен циклу Стирлинга в том, что оба они эффективно вырабатывают электричество, используя внешнее горение с регенераторами. Оба цикла могут работать от солнечного или ядерного источника тепла. В игровом дизайне используется последний, генерирующий 60 МВт при 3000 об/мин и КПД 30%.



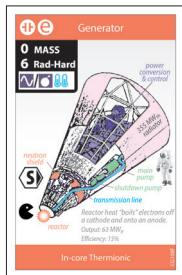
**Генератор-компульсатор (Flywheel Compulsator Generator)** — диск низкой плотности, вращающийся в вакууме со скоростью до 80000 об/мин, может накапливать значительную энергию в своем угловом моменте. Есть два колеса по 2,5 тонны, каждое диаметром 1,5 м и толщиной 1,2 м, сделанные из графита. Они вращаются на одной оси, подвешенной на сверхпроводящих магнитных подшипниках из YBCO. Система включает в себя электронику выпрямления, фильтрации и инверсии, а также нечеткую логику демпфирования вибрации вала. Компульсатор (сокращение от компенсированного импульсного генератора переменного тока) обеспечивает электропитание. Максимальная сохраненная энергия составляет 200 ГДж при пиковой нагрузке 600 МВт. Удельная мощность и энергия составляют 7,6 кВт/кг и 2,5 МДж/кг.



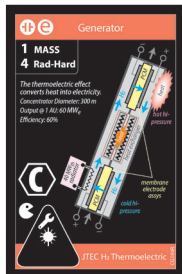
**Granular Rainbow Corral Generator** — облако отражающих частиц микронного размера формируется в определенной поверхности под действием светового давления, что позволяет ему формировать очень большую и легкую апертуру оптической системы. Летя строем в составе так называемого «зернистого космического корабля», он отражает солнечный свет, как радуга. Стержнеобразные частицы загоняются в трех измерениях с помощью сильно сфокусированного гауссового лазерного луча. Оптомеханические взаимодействия происходят на уровне зерен, захватывая частицы с низким индексом внутри оптического вихря. — Марко Кадрелли, 2013.



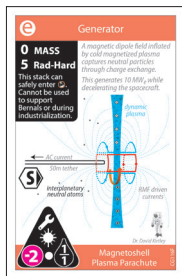
**H<sub>2</sub>- O<sub>2</sub> генератор топливных элементов (H<sub>2</sub>- O<sub>2</sub> Fuel Cell Generator)** — регенеративные щелочные топливные элементы преобразуют химическую энергию топлива непосредственно в электричество, используя водород в качестве топлива и кислород в качестве окислителя. На аноде газообразный водород соединяется с ионами гидроксида, образуя водяной пар и свободные электроны. Удельная энергия топлива составляет 13,5 МДж/кг. На катоде кислород и вода, а также возвращающиеся из цепи электроны образуют ионы гидроксида, которые возвращаются обратно на анод. Для производства тока используются либо протонообменные мембраны (PEM), либо микробы, которые переносят электроны на электрод в процессе метаболизма. Углеродные нанотрубки с титановым покрытием отвечают двум ключевым требованиям для эффективного хранения водорода: способность связываться с молекулами водорода в достаточном количестве и легко отдавать водород при нагревании. Блок топливных элементов мощностью 200 ГДж имеет пиковую нагрузку 600 МВт и объем 300 м<sup>3</sup>. Удельная мощность и энергия составляют 15 кВт/кг и 5 МДж/кг. Рабочая температура составляет 400 К с тепловым КПД 70%.



**Термоэмиссионный генератор (In-core Thermionic Generator)** — системы термоэмиссионного преобразования можно рассматривать как «электронный котел», в котором электроны термически выпариваются с нагретого эмиттерного катода и собираются на поверхности анода, передавая электроэнергию постоянного тока на внешнюю нагрузку. Твердотельные SiC-транзисторы, работающие при температуре 520 К и КПД 98% при удельной мощности 6 кВт/кг, преобразуют постоянный ток в переменный. Внутривакуумные термоэмиссионные системы состоят из преобразователей, которые непосредственно присоединены к отдельным тепловыделяющим элементам в активной зоне реактора. Охлаждение анода осуществляется контуром, по которому жидкометаллический хладагент циркулирует к внешнему радиатору. В базовой системе используются однослойные преобразователи BaCs и аноды коллектора, покрытые карбидом кремния. Термоэлектро-электромагнитные (ТЭМ) насосы используются для перекачки натрия к радиаторам и обратно. При работе при температуре эмиттера 13000 К, КПД преобразования цикла составляет 15 %, а мощность — 125 МВт. Удельная мощность с учетом натриевых тепловых труб составляет 2200 кг/МВт.

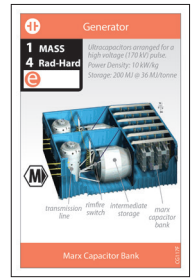


**Термоэлектрический генератор JTEC H2 (JTEC H2 Thermoelectric Generator)** — в большинстве тепловых двигателей используется цикл Стирлинга, Брайтона или Ренкина, работающий между горячим и холодным источниками. Это механические устройства, которые используют циркулирующие жидкости и поршни или турбины, как правило, с эффективностью около 30%. Напротив, JTEC (термоэлектрохимический преобразователь Джонсона) полностью твердотельный, вырабатывающий электричество без движущихся частей с эффективностью около 60%. Генератор JTEC использует электрохимический потенциал давления водорода, приложенного к протонпроводящей мембране (PCM). На стороне высокого давления PCM газообразный водород окисляется, что приводит к образованию протонов и электронов. Перепад давления выталкивает протоны через мембрану. На стороне низкого давления протоны восстанавливаются электронами с образованием газообразного водорода. PCM и пара электродов образуют узел мембранных электродов, подобный тем, которые используются в топливных элементах. В JTEC используются две такие сборки, одна из которых соединена с высокотемпературным (до 1400 К) источником тепла, а другая — с низкотемпературным радиатором. — Лонни Джонсон, [www.johnsonnems.com](http://www.johnsonnems.com)

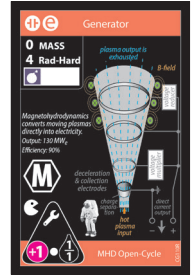


**Magnetoshell Plasma Parachute Generator** — парашют с магнитной оболочкой, развернутый на 50-метровом тросе во время маневра аэродинамического торможения, формирует магнитное дипольное поле силой 500 Гаусс. В это поле вводится низкотемпературная намагниченная плазма. Вместо того, чтобы отклонять газ, как аэродинамический снаряд, или плазму, как магнитный замедлитель, он захватывает гиперзвуковой нейтральный газ посредством процессов столкновения. Импульс газа с перезарядкой поглощается магнитной структурой, а ионизированный газ подпитывает и нагревает плазму. Предположительно, при торможении в атмосфере Нептуна на высоте 2000 км при максимальной плотности атмосферы 3,5×10<sup>18</sup> молекул/м<sup>3</sup> при скорости набега 26,7 км/с нейтральная молекулярная масса составляет 2,5 а.е.м., а направленная нейтральная энергия составляет 9,4 эВ. Это генерирует 10 МВт при торможении космического корабля. — Дэвид Куртли, НАСА, 2013 г.

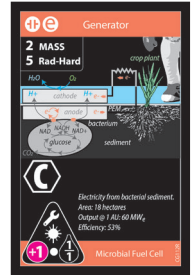
**Генератор импульсного высокого напряжения Маркса (Marx Capacitor Bank Generator)** — многие импульсные двигатели (Z-пинч, термоядерный фокус) требуют, чтобы большая батарея конденсаторов заряжалась в течение нескольких микросекунд и разряжалась гораздо быстрее с очень небольшими потерями. Схема, известная как генератор Маркса, генерирует импульс высокого напряжения, заряжая конденсаторы при параллельном соединении, а затем, соединяясь последовательно, разряжает их с помощью искрового промежутка или плазменных переключателей. Батарея конденсаторов Маркса имеет 0,53 А/м и хранит 54 кДж/кг при напряжении в несколько сотен киловольт.



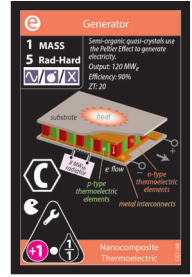
**МГД-генератор открытого цикла (MHD Open-Cycle Generator)** — магнитогиродинамика (сокращенно МГД) — это управление плазмой с помощью магнитных полей. Электродгенератор МГД имеет преимущества высокой эффективности прямого преобразования энергии (90%), отсутствия движущихся частей и мгновенного включения. Установленный на выходе из сопла ракеты или газопоршневого реактора, он магнитно расширяет и охлаждает выхлопную плазму, извлекая электроны с помощью большой заземленной коллекторной пластины. МГД также может преобразовывать энергию лазера в электричество. Для показанной конструкции с открытым циклом расширитель распространяется в форме веера с радиусом в несколько метров. Положительные ионы собираются на серии высоковольтных электродов, что приводит к прямой передаче кинетической энергии постоянному току. Электроды должны быть очищены, чтобы предотвратить накопление токопроводящих отложений, которые могут вызвать короткое замыкание. Процесс обратим, при подаче электроэнергии экономия топлива выхлопа ракеты (например, для химических ракет или дуговых реактивных двигателей) может быть удвоена. Сверхпроводящие магниты при комнатной температуре с высокой плотностью тока создают область скрещенного поля (4 Тл), которая ускоряет плазму силами Лоренца. Из-за ограничений материала, температура воздуховода ограничена 2500 К. Обычно в плазму добавляют щелочной металл (например, магний) для обеспечения проводимости. Этот металл необходимо извлекать и рециркулировать из выходящего потока. Полезная удельная мощность составляет 350 кг/МВт. — *Самим Ангаи, Разработка парожидкостных реакторов с МГД-генератором для космической энергетики и двигательных установок, Университет Флориды, 2002 г.*



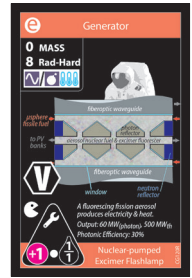
**Микробно-топливный генератор (Microbial Fuel Cell Generator)** — биоинженерные «орган-электронные» культуры, выращенные в космосе, переносят органический материал и осаждают его через свои корни. Этот процесс называется ризоотложением. Микробный топливный элемент (MFC) использует бактерии в качестве катализатора для преобразования химической энергии этого осадка непосредственно в электричество. Бактерии в анаэробном осадке будут использовать анод MFC в качестве нерастворимого акцептора электронов. С помощью нанопроводов анод собирает 95% электронов, возникающих в результате микробного метаболизма. Протоны проходят через протонную или катионообменную мембрану к катоду, где восстанавливаются кислородом до воды. При скорости подачи ризодепозита 0,3 кг/л/сут МТЭ достигают мощности в кВт/м<sup>2</sup> поверхности электрода. Эта энергия хранится в «живых конденсаторах». Диэлектрик — нитевидный pMOS, а выводы — золото, осажденное из паровой фазы. До 4 ГДж солнечной энергии хранится в 20 000 ячеек, каждая на 390 К и 30 В. Участок шириной 470 м (18 га) на 1 а.е. может генерировать до 60 МВт.



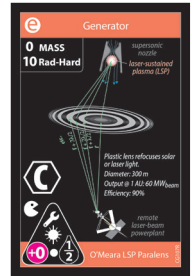
**Нанокompозитный термоэлектрический генератор (Nanocomposite Thermoelectric Generator)** — когда ток течет между соединением двух разных металлов, тепло вырабатывается в верхнем соединении и поглощается в нижнем, что известно как эффект Пельтье. Безразмерный показатель качества, известный как параметр ZT, отражает общую эффективность, где 1 является стандартом для большинства соединений, а 4 работает аналогично механическим устройствам. Нанокompозиты, в частности интербидий, оксиды типа перовскита, бакиболы, легированные Si-Ge, и соединения алюмината меди продемонстрировали перспективность ZT > 5 при температурах, приближающихся к 1400 К. Сложные полурганогенные квазикристаллы могут достигать показателей ZT порядка 20, допуская КПД > 90%. Термоэлектрический эффект также можно использовать в обратном порядке для преобразования отработанного тепла в электричество. Удельная площадь 34 кг/м<sup>2</sup> при 1275 К. — *л. Су, Ю. Ган, Достижения в области термоэлектрического преобразования энергии нанокompозитов, 2011.*



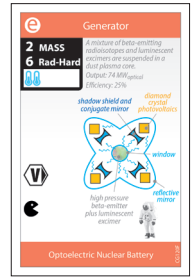
**Генератор на эксимерных лампах с ядерной накачкой (Nuclear-pumped Excimer Flashlamp Generator)** — реактор деления или синтеза, в котором в качестве аэрозоля используются делящиеся микросферы, смешанные с эксимерным флуоресцентным газом. Этот аэрозоль приводит в возбужденное состояние ядерным излучением, а затем испускает некогерентные узкополосные фотоны. Конические волноводы передают энергию фотонов из цилиндрического генератора в волоконно-оптические пучки, а затем в группы фотоэлементов, которые преобразуют ее в электричество с эффективностью 30%. Этот двухэтапный метод позволяет получать электроэнергию без ограничений цикла Карно из осколков деления, транспортной длина которых (микроны) слишком мала для прямого преобразования энергии, такого как МГД. Узкая полоса обеспечивает высокую фотогальваническую эффективность до 90%, а эффективность эксимерной флуоресценции составляет 35%. Радиационное повреждение кристаллического фотоэлектрического элемента устраняется периодическим термическим отжигом. Критические размеры аэрозольного генератора: длина и диаметр активной зоны 2,45 м, радиус топливного элемента 9 см, плотность топлива 235U 1 мг/см<sup>3</sup> — *М.А. Прелас, 1990.*

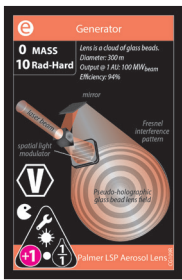


**O'Meara LSP Paralens Generator** — лазер может проецировать луч только до того момента, пока он не начнет расширяться. Если луч встречает линзу до начала распространения, то энергия луча захватывается и перефокусируется для формирования совершенно нового луча. Линза представляет собой тонкую структуру, способную фокусировать электромагнитное излучение, обычно оптическое, инфракрасное или микроволновое излучение. На иллюстрации изображена паралинза O'Мира диаметром 55 м, состоящая из чередующихся слоев ничего и каптонового пластика толщиной, выбранной таким образом, чтобы добавить полуволну фазы к лазерному свету. Вводя луч в сопло ракеты особой формы, которое фокусирует луч с эффективностью поглощения лазера 90%, можно удвоить эффективность ракетного топлива. — *Роберт Л. Форвард, Исследование передовых концепций движения – сравнительное исследование солнечной электрической и лазерной электрической силовой установки, 1975.*

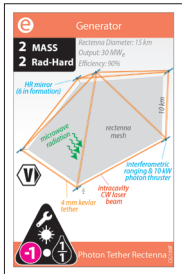


**Оптоэлектрический ядерный генератор (Optoelectric Nuclear Battery Generator)** — эта легкая высокоэффективная батарея низкого давления преобразует ядерную энергию в свет, который затем используется для выработки электроэнергии. Бета-излучатель, такой как технеций-99 или стронций-90, взвешен в газе или жидкости, содержащей люминесцирующие молекулы газа эксимерного типа, составляющие «пылевую плазму». Это позволяет практически без потерь испускать бета-электроны излучающими частицами пыли. Затем электроны возбуждают газы, эксимерная линия которых выбрана для преобразования радиоактивности в окружающий фотогальванический слой. Окружающая слабоионизированная плазма состоит из газов или газовых смесей (например, криптона, аргона, ксенона) с эксимерными линиями, так что значительная часть энергии бета-электронов преобразуется в этот свет. Окружающие стены содержат фотогальванические слои с широкими запрещенными зонами, такие как алмаз. Это преобразует оптическую энергию в электрическую энергию. — *Патент Германии DE19833648, 2000 г.*

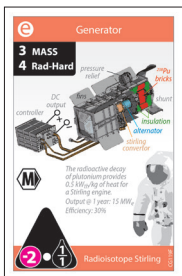




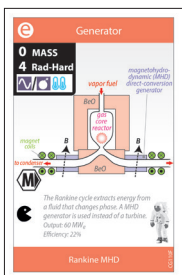
**Генератор на аэрозольных линзах (Palmer LSP Aerosol Lens Generator)** — самая легкая из возможных линз формируется из облака стеклянных шариков или аэрозольных капель, образующих трехмерную псевдоголографическую линзу Френеля. Если эти капли имеют сильно нелинейный показатель преломления, их можно «организовать» с помощью структурированного лазерного луча, который взаимодействует с нелинейным оптическим показателем преломления шариков, чтобы воздействовать на шарики силами, которые «улавливают» шарики в зоне, подобной зоне Френеля. Типичное поле капель составляет 80 метров в поперечнике, с параметром  $0,1 \text{ кг/м}^2$  и эффективностью передачи 96%. Аэрозольная линза может улучшить топливную экономичность ракеты за счет фокусировки лазерного излучения на ее сверхзвуковом выхлопном потоке в сопле. Это создает поддерживаемую лазером плазму (LSP), стационарную область с температурой 15 000 К, которая передает энергию топливу посредством процесса обратного тормозного излучения. — Дж. Палмер, *Аэрозольные линзы*, J. Optical Society of America, Vol. 73, с. 1568 и далее, 1983 г.; А. Мертозул и Х. Криер; *Двухтемпературное моделирование устойчивой лазерной водородной плазмы*, Журнал теплофизики и теплопередачи, 8:781–790, 1994.



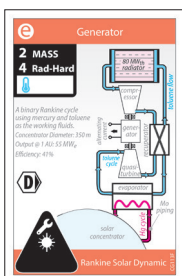
**Генератор на базе ректенны (Photon Tether Rectenna Generator)** — микроволны, излучаемые удаленным спутником, эффективно преобразуются в энергию постоянного тока с помощью специальной антенны, называемой ректенной. Это набор маленьких дипольных антенн, соединенных с сетью полупроводниковых диодов и схем фильтров, которые преобразовывают переменный ток в постоянный. Использование диодов с барьером Шоттки из нанотрубок в качестве выпрямителя позволяет достичь высокой эффективности преобразования (90%). Показанная тонкопленочная ректенна устанавливает эти диоды на протравленном слое каптоновой пленки и работает на частоте 30 ГГц при удельной мощности 700 кг/МВт. Однако диапазон весьма ограничен для приемных и передающих антенн разумного размера. Например, передатчик на LEO должен иметь размер 10 км, чтобы передавать мощность 30 ГГц на 100-метровую ректенну на GEO.



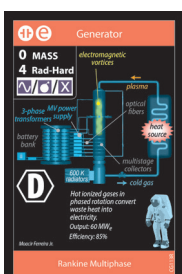
**Радиоизотопный стирлинг-генератор (Radioisotope Stirling Generator)** — радиоактивный распад плутония дает 0,5 кВтч/кг. Сто тонн плутония производят 15 МВт с использованием двигателя Стирлинга, работающего с КПД 30%.



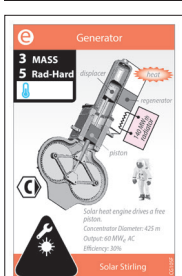
**МГД-генератор Ренкина (Rankine MHD Generator)** — в отличие от цикла Брайтона, цикл тепловой машины Ренкина использует рабочую жидкость, которая меняет фазу. Это дает ему более низкие коэффициенты температуры цикла и, следовательно, меньшую массу и более высокий КПД (22%). МГД Ренкина - это версия МГД-генератора с замкнутым циклом. Системы магнетогидродинамического (МГД) преобразования производят электроэнергию так же, как и обычные турбогенераторы, за исключением того, что вращающийся магнит заменен проводящей ионизированной плазмой, которая проходит через канал, окруженный магнитным полем. Генерируемая мощность пропорциональна объему канала, скорости плазмы и напряженности поля, окружающего магниты. Показанная сверхвысокотемпературная система использует дисковый МГД-генератор (типа Холла с магнитным полем 4 Тл), окружающий выходной поток реактора. Параметры стационарного режима: поток нейтронов  $1015 \text{ н/см}^2\text{-сек}$ , электропроводность с ядерным усилением 60 МОм/м, магнитное поле 4 Тл, удельная мощность 1,5 т/МВт. Этот генератор может работать в импульсном режиме при питании импульсных лазеров или электродвигателей. Когда импульсная мощность не требуется, ядерная зона остается с докритической плотностью топлива. Затем, когда необходим импульс мощности, активный объем активной зоны уменьшается до критичности с помощью импульсной МГД-магнитоиндукции. — Самим Ангаи, Университет Флориды, *Разработка парожидкостных реакторов с МГД-генератором для космической энергетики и двигательных установок*, 2002 г.



**Солнечный динамический генератор Ренкина (Rankine Solar Dynamic Generator)** — в этой версии цикла тепловой машины Ренкина используются двойные рабочие жидкости: ртуть (высокая температура) и толуол (промежуточная температура). Солнечный концентратор нагревает ртуть, которая передает свою энергию толуолу в испарителе. Общий КПД (от солнечной энергии к электроэнергии переменного тока) составляет 41%.



**Многофазный генератор Ренкина (Rankine Multiphase Generator)** — эта тепловая машина с замкнутым циклом, преобразующая тепло в электричество, предназначена для преобразования «отработанного тепла» тормозного излучения в электричество. Нежелательное излучение поглощается высокотемпературным рабочим телом и ионизирует его. Две скручивающие электромагнитные силы в противофазе друг с другом образуют вихри, которые расширяют ионизированный газ в осевом и радиальном направлениях. Таким образом, вихрь действует как МГД-«турбина», отбирающая тепловую энергию по циклу, аналогичному МГД-генератору Ренкина. Заявленный КПД 85%, неслыханный для замкнутого цикла, не был продемонстрирован. 15% низкокачественного тепла переходит к радиатору и, в конечном итоге, к среднетемпературному радиатору. Температура на входе 4000 К генерирует 60 МВт и требует радиатора на 600 К площадью  $1,5 \text{ м}^2$ . — Моасир Феррейра мл.



**Солнечный генератор Стирлинга (Solar Stirling Generator)** — в цикле Стирлинга используется поршневой двигатель замкнутого цикла и однофазная газообразная рабочая жидкость высокого давления, часто водород или гелий. Жидкость может быть нагрета солнечной или ядерной энергией. Двигатель предназначен для сжатия рабочей жидкости в более холодной части двигателя и ее расширения в горячей стороне, что приводит к чистому преобразованию тепла во вращательное движение. Показанный свободнопоршневой преобразователь Стирлинга оптимален для применения в космосе из-за отсутствия механизмов износа. Двигатель Стирлинга, нагреваемый солнечным зеркалом диаметром 425 м на расстоянии 1 а.е., может приводить в действие генератор переменного тока мощностью 60 МВт. При использовании углерод-углеродных композитов горячая сторона цикла Стирлинга может достигать температуры 2000 К с термодинамической эффективностью 30%. Этот КПД превосходит все другие тепловые двигатели.

**Сверхпроводящий генератор (Superconducting Adductor Generator)** — энергия может храниться индуктивно в магнитном поле катушек, охлажденных до температур сверхпроводимости. Тороидальная геометрия уменьшает внешние магнитные силы и уменьшает размер необходимой механической поддержки. 25-тонный аддуктор объемом  $150 \text{ м}^3$  хранит 6 ГДж в магнитном поле 10 Тл. Его параметр составляет 40 МДж/м<sup>3</sup> при 60 МВт. – Камияма, 1994.

**Термофотоэлектрический генератор (Thermo-Photovoltaic Generator)** — солнечная термофотоэлектрическая (ТФЭ) система включает в себя как фотонный элемент, так и тепловой элемент, поэтому она может работать как от света, так и от тепла. Фотонный элемент включает фильтрующий преобразователь на основе черного тела, полосовые/инфракрасные (ИК) отражательные фильтры и монолитные двухпереходные двухполюсные преобразователи ТПВ: GaSb (верхняя ячейка)/InGaAsSb (нижняя ячейка). Нагревательный элемент имеет три алмазных нанослоя: кремний-германий (SiGe), свинец-теллурид (PbTe) и теллурид висмута (Bi<sub>2</sub>Te 3). При освещении на расстоянии в 1 а.е. легким солнечным концентратором диаметром 300 метров солнечный ТФЭГ генерирует 60 МВт электроэнергии постоянного тока. С источником тепла 1800 К реализуется как высокий КПД каскада (62%), так и высокая плотность выходной мощности (около 2 Вт/см<sup>2</sup>). – Санг Чой, Лаборатория Nano-BEAMS, Исследовательский центр НАСА в Лэнгли, 2003 г.

**Генератор, использующий энергию ядерного распада (Triggered Decay Nuclear Battery Generator)** — ядро изомера — долгоживущее возбужденное состояние ядра атома — содержит огромное количество энергии. Если эта энергия высвобождается внезапно, а не медленно распадается с течением времени, она станет основой для мощной ядерной батареи. В этой конструкции используется радиоактивный изотоп <sup>177m</sup>Lu, который расщепляется под действием рентгеновских лучей. Выпускается 1000 ТДж/кг. Радиоактивный материал находится поверх устройства с соседними слоями кремния P-типа и N-типа, так что ионизирующее излучение напрямую проникает в соединенные и создает электронно-дырочные пары для генерации электричества. – <http://phys.org/news/2013-03-revolutionary-nuclear-battery-closer.html#jcp>, 2013 г.

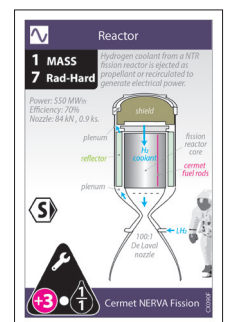
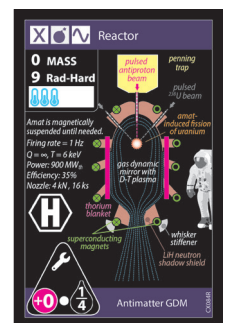
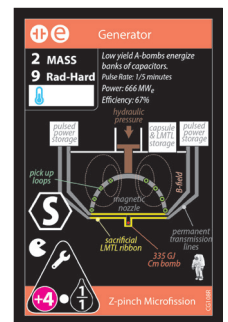
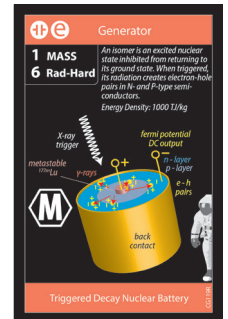
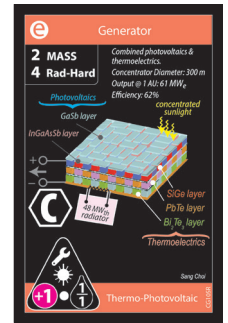
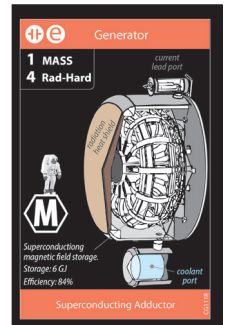
**Генератор микроделения с Z-пинчем (Z-pinch Microfission Generator)** — электродинамическое сжатие с z-пинчем можно использовать для создания атомных бомб с критической массой с очень низким выходом. Эти взрывы можно использовать для создания импульсной мощности или тяги. Экзотический делящийся материал используется для снижения требуемой степени сжатия. Взрыв каждой маломощной (335 ГДж) атомной бомбы заряжает и испаряет набор линий передачи с малой массой, используемых для накачки либо другого сильноточного Z-пинча, либо набора ультраконденсаторов с нанотрубками. В каждой бомбе используется 40 г делящегося материала Cm и 60 г отражающего материала Be. В качестве излучателя нейтронов используется DT-диод. Майларовые линии передачи имеют массу 15 кг и заменяются после каждого выстрела. Проиллюстрированная конструкция рассчитана на выброс каждые 5,5 минут, что эквивалентно выходной мощности 1000 МВт. Это обеспечивает тягу 7,7 кН при удельном импульсе 17 кг. – Ральф Эвиг и Дана Эндрус, Ракета Orion с двигателем Mini-MagOrion Micro Fission, Andrews Space & Technology, 2002.

## Z6. Карты реакторов

Реакторы получают тепловую энергию из топлива, обычного ядерного топлива деления или синтеза. Эта энергия может быть использована для движения, переработки или производства электроэнергии. В конструкции реактора часто преобладает необходимость минимизировать отходящее тепло. Для этого есть три стратегии: стационарная, бомбовая и экзотическая. Стационарные реакторы — это, по сути, камеры, содержащие самые чистые стационарные реакции, либо анейтронный синтез, продукты которого могут направляться магнитными полями, либо деление, чьи более грязные продукты можно уменьшить за счет охлаждения в открытом цикле. Бомбовые реакторы поджигают топливо снаружи ракеты и направляют заряженные продукты реакции для получения энергии или тяги с помощью магнитного или абляционного сопла. В экзотических реакторах хранятся катализаторы, которые служат воспламенителями для реакций деления или синтеза.

**Реактор GDM на антиматерии (Antimatter GDM Reactor)** — если будет найден способ дешевого производства топлива на антиматерии, его можно будет хранить в виде левитирующего антиводородного льда. Импульс 5 мкг топлива ( $3 \cdot 10^{18}$  антипротонов) затем сталкивается с 60 г топлива из тяжелых металлов ( $9 \cdot 10^{24}$  атомов свинца или обедненного урана) в магнитной ловушке. Каждый антипротон аннигилирует протон или нейтрон в ядре тяжелого атома. Использование тяжелых металлов помогает подавить образование нейтральных пионов и гамма-лучей за счет реабсорбции внутри делящегося ядра. Если вместо тяжелого металла используется реголит, поток гамма-излучения увеличивается втрое, что требует гораздо большего охлаждения. Каждый импульс содержит 900 МДж энергии, а при частоте следования 1 Гц достигается уровень мощности 900 МВт. По сравнению с термоядерным синтезом тормозное рентгеновское излучение теряет больше энергии из-за более высоких температур и давлений. Кроме того, короткоживущие заряженные продукты антипротонных реакций (заряженные пионы и мюоны) должны быть быстро исчерпаны, чтобы предотвратить увеличение количества энергии реакции, теряемой из-за невозможности нейтрино. Около трети энергии реакции приходится на рентгеновские лучи и нейтроны, остановленные в виде тепла в экранях (некоторые из них можно восстановить в цикле Брайтона), еще треть улетучивается в виде нейтрино, а последняя треть представляет собой заряженные фрагменты, непосредственно преобразуемые в тягу или электричество. Если для материала с высоким Z используется <sup>238</sup>U, реакция усиливается за счет деления урана. Если камера представляет собой газодинамическое зеркало (GDM), заполненное DT-плазмой, реакция еще больше усиливается за счет термоядерной энергии, генерируемой аннигиляционными мюонами. – Дл. Морган, Концепции проектирования ракеты для уничтожения антиматерии, J. British Interplanetary Soc. 35, 1982. (Для использования в этой игре, чтобы масса излучателя оставалась в разумных пределах, я уменьшил частоту пульсации с 60 Гц до 2 Гц.); Роберт Л. Фэрвард, Движение антипротонной аннигиляции, Дейтонский университет, 1985.

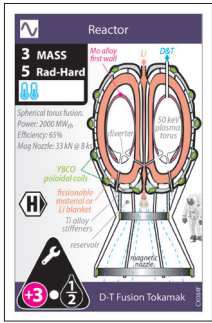
**Реактор с кермет стержнями проекта NERVA (Cermert NERVA Reactor)** — реактор деления, предназначенный для охлаждения водородом, который затем либо выбрасывается через сопло для охлаждения двигательной установки открытого цикла, либо рециркулирует в термодинамическом цикле для выработки электроэнергии. Трубы теплоносителя проходят от одного конца реактора к другому, окруженные топливными стержнями и отражателем нейтронов из оксида бериллия. Топливные стержни изготовлены из высокотемпературных керметов (керамических металлов), которые остаются безопасными в твердом состоянии в течение длительного срока службы при температуре в камере 3100 К. КПД замороженного потока 76% и КПД сопла 96% дают удельную мощность 340 МВт/м<sup>3</sup>, тягу 84 кН и удельный импульс 0,9 кс. – Альтсеймер и др. Эксплуатационные характеристики и требования к летному двигателю NERVA, документ AIAA 70-676, июнь 1970 г.



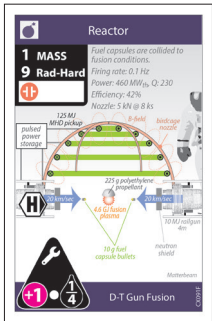
**Термоядерный магнито-инерционный реактор D-D (D-D Fusion Magneto-inertial Reactor)** — теоретически дейтериевое топливо может быть сжато до условий синтеза с помощью взрывающегося металлического вкладыша, если имплозия является однородной, интенсивной и осуществляется с большой точностью. Если сильное магнитное поле в мишени подавляет перенос тепла, мощность имплозии становится достаточно низкой, чтобы использовать магнитную имплозию. Металлический корпус впоследствии можно было бы использовать в качестве топлива. Колеблущаяся катушка под действием магнитного поля взрывает плазменный вкладыш, используемый для приведения целевого плазмоида FRC в условия термоядерного синтеза. Поршневой характер этого двигателя также обеспечивает эффективную электроэнергию, необходимую для формирования и нагрева целевого плазмоида. При использовании напыляемых литиевых вкладышей достигается частота 0,1 Гц и мощность 510 МВт при коэффициенте усиления 200. — Джон Слай, MSNW, 2012.



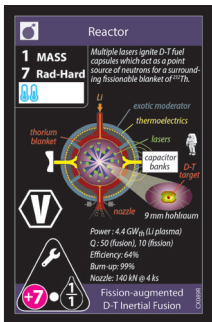
**D-T токамак-реактор (D-T Fusion Tokamak Reactor)** — из всех термоядерных реакций проще всего получить смесь изотопов водорода, называемых дейтерием и тритием (DT). Эта реакция «грязная», только 20% мощности реакции приходится на заряженные частицы (альфа), которые могут быть магнитно извлечены с помощью дивертора мощности или тяги. Оставшаяся энергия (нейтроны плюс тормозное и циклотронное излучение) должна быть захвачена в окружающую оболочку из холодной плотной литиевой плазмы. Нагретый литий либо впрыскивается в сопло в качестве хладагента открытого цикла, либо рециркулирует через тепловую машину. Показанный термоядерный реактор использует магнитное удержание. В токамаке в форме пончика используются восемь полоидальных сверхпроводящих катушек весом 22 тонны с ребрами жесткости и защитой от нейтронов для создания магнитного поля 30 Тл. Импульсная DT-плазма, содержащая ток в десятки мегаампер, перегревается микроволнами мощностью 50 МВт или встречными пучками до 20 кэВ. Q (коэффициент усиления) равен 40. Устройства с замкнутой силовой линией, такие как токамаки, могут воспламеняться и гореть, и в этом случае Q стремится к бесконечности, и микроволновый нагрев больше не требуется. Однако, поскольку воспламенение по своей природе нестабильно, в реакторе поддерживается температура чуть ниже воспламенения. Топливо пополняется со скоростью 24 мг/сек путем продувки газа для поддержания плотности ионов плазмы  $5 \cdot 10^{20} / \text{м}^3$  и давления 26 атм. Более совершенные вихревые конструкции, в которых отсутствует первая стенка, отделяют горячее термоядерное топливо от холодной литиевой плазмы путем завихрения смеси. Тепловой КПД составляет 50% в режиме открытого цикла. — Боровски, Дудзински и Юхас, Концепция космической двигательной установки со сферическим торовым ядерным реактором для быстрых межпланетных путешествий, Уильямс, Исследовательский центр Льюиса, 1998 г. (Токамак, используемый в High Frontier, представляет собой уменьшенную низкотехнологическую версию конструкции Льюиса. Он использует DT вместо топлива  $3\text{He-D}$ , он требует гораздо большего открытого цикла и охлаждения радиатора.)



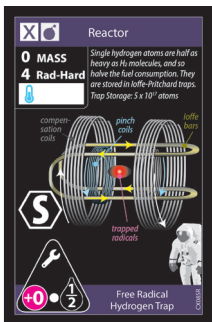
**Рельсотронный реактор (D-T Gun Fusion Reactor)** — в этом реакторе используются два рельсотрона, каждый из которых разгоняет 10-граммовую пулю из термоядерного топлива до скорости 20 км/сек, что достаточно, чтобы создать условия синтеза при столкновении. Пули содержат три элемента: тонкую (100 нм) лицевую пластину из золота, камеру, содержащую газовую смесь дейтерия, трития и водорода, и твердый «хвост». При ударе золотые лицевые панели испаряются, поскольку кинетическая энергия преобразуется в тепловую (эффективность 10%). Тепло, излучаемое при ударе, повышает температуру газовой смеси (1% массы пули) до 3,125 млн К. Это снижает требования к давлению для воспламенения в 105 раз. При выгорании топлива до 6,6% каждый выстрел генерирует 4,5 ГДж энергии синтеза. Хотя слияние дейтерия и трития (D-T) осуществить легче всего, оно также является одним из самых грязных — около 80 % мощности реакции приходится на нейтроны с энергией 14 МэВ. Удар закрыт полусферой из полиэтилена габаритами 2,5 см, которая поглощает более 98% нейтронов. Поглощая половину мощности синтеза (2,3 ГДж), его масса 225 граммов может быть либо захвачена с помощью МГД для получения энергии, либо выброшена в качестве топлива. Поскольку столкновение внешнее, другая половина энергии уходит в космос. Полиэтилен, превращенный в плазму, нагревается до температуры 2 млн К. В магнитном сопле с КПД 85% превращается в выхлоп со скоростью 80 км/с. и 5,5 кН тяги. Рельсотроном с КПД 16% требуется 10 МДж на выстрел при коэффициенте усиления 230. Эта мощность извлекается из топлива с использованием МГД и сохраняется в суперконденсаторах. — Малук К. (Matterbeam), 2016.



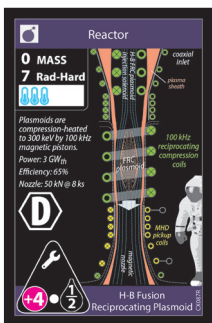
**Инерционный термоядерный реактор с усиленным делением (Fission-augmented D-T Inertial Fusion Reactor)** — гипотетический гибридный термоядерный реактор может использовать топливные таблетки DT, окруженные расщепляющимся покрытием из Th-232, для производства энергии, значительно превышающей входную (лазерную) энергию для выработки электроэнергии. Используемый принцип состоит в том, чтобы индуцировать термоядерный синтез с инерционным удержанием (ICF) в топливной грануле, которая действует как высококонцентрированный точечный источник нейтронов, который, в свою очередь, преобразует и расщепляет внешний делящийся слой. — LLNL, 2008 г. <http://nextbigfuture.com/2008/12/proposed-laser-ignition-fusionfission.html>



**Свободнорадикальный водородный реактор (Free Radical Hydrogen Reactor)** — свободные радикалы представляют собой отдельные атомы элементов, которые обычно образуют молекулы. Свободнорадикальный водород имеет половину молекулярной массы  $\text{H}_2$  и, если его использовать в качестве топлива, удваивает удельный импульс термодинамических ракет. В качестве альтернативы, при рекомбинации его удельная энергия (218 МДж/кг) дает теоретически удельный импульс 2,13 кс. Одноатомный Н производится на месте в твердой матрице  $\text{H}_2$  путем бомбардировки частицами, охлаждается лазерным циркулированием ВУФ (вакуумный ультрафиолет) и, наконец, захватывается гибридным лазером-магнитом в виде газа Бозе-Эйнштейна при сверхнизких температурах. Свободнорадикальный водород заключен в ловушку Причарда-Иоффе, чтобы его подвижный спин оставался выровненным. Удержание обеспечивается взаимодействием атомного магнитного момента с неоднородным магнитным полем. Плотность захвата составляет  $>10^{14}$  атомов/см<sup>3</sup> (намного выше, чем у ловушек Пеннинга). Поляризация спинового вектора увеличивает площадь поперечного сечения термоядерной реактивности тяжелого водорода на 50%, увеличивая его полезность в качестве термоядерного топлива, и ни ионизация, ни столкновения атомов не деполаризуют свободные радикалы.

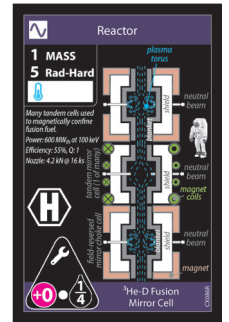


**Поршневой плазмодный реактор (H-B Fusion Reciprocating Plasmoid Reactor)** — работа этого термоядерного двигателя сравнима с работой двигателя внутреннего сгорания. Топливо для сжигания представляет собой гранулу декаборана ( $\text{H}_{14}\text{B}_{10}$ ) весом 25 мг. Он магнитно преобразуется в водородно-борный плазмод в конфигурации с обращенным полем (FRC) и вводится в камеру сжатия/сжигания. Такт сжатия приводится в движение оболочкой поршня, соединенной с осевым магнитным полем частотой 100 кГц. Этот удар поджигает плазмод при 300 кэВ. Плазма оболочки, образующая поршень, представляет собой литий, воду или топливо из окружающей атмосферы. После перегрева как продукты синтеза, так и топливо в оболочке расширяются для получения тяги или энергии в магнитном сопле. Электрическая энергия для сжатия берется через катушки МГД в выхлопе. Высокая плотность энергии, прямая связь с топливом, магнитная изоляция и низкое усиление термоядерного синтеза позволяют сделать двигатель намного легче, чем другие термоядерные системы с магнитным ограничением, такие как сферические токамаки. С охлаждением открытого цикла и воздушным совком тяговооруженность может быть выше единицы, что позволяет прямооточному воздушному двигателю выходить на орбиту с поверхности Земли. При 100 кг/с и 2,5 кг/с вырабатывается 3 ГВт с общей эффективностью 65%. — Джон Слайф, «Земля на орбите на основе возвратно-поступательно плазменного лайнера, сжатие термоядерных плазмодов», Вашингтонский университет, 2007 г.

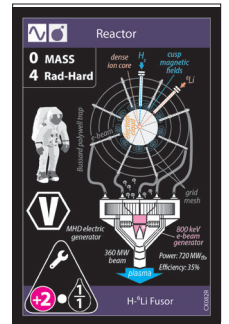




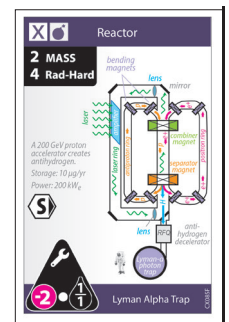
**Зеркально-клеточный реактор синтеза  $3\text{He-D}$  ( $3\text{He-D}$  Fusion Mirror Cell Reactor)** — гелий-3 — это изотоп гелия, а дейтерий — это изотоп водорода. Цикл синтеза  $3\text{He-D}$  превосходит цикл DT, поскольку почти вся энергия синтеза, а не только 20%, выделяется в плазме в виде быстрых заряженных частиц. Магнитные контейнеры с линейной, а не тороидальной геометрией, такие как стационарные зеркала, имеют превосходные отношения давления плазмы к давлению магнита ( $\beta > 30\%$ ) и более высокие плотности мощности, необходимые для достижения высоких (50 кэВ) рабочих температур  $3\text{He-D}$ . Показанная конструкция зеркала представляет собой трубку из сверхпроводящих магнитных катушек на 11 Тл с дроссельными катушками для отражения на концах. Магниты весят 12 тонн, плюс еще 24 тонны приходится на 60-сантиметровую защиту от магнитного излучения и охлаждение. Зеркало имеет низкие радиационные потери (20% тормозного излучения, 3% нейтронов) по сравнению с его концевыми потерями (77% быстрых заряженных частиц). Эти потери ограничивают Q примерно единицей и предотвращают воспламенение. Добротность может быть улучшена за счет тандемной компоновки: идентичные зеркальные ячейки от начала до конца, так что потеря одного является приобретением другого. Выхлоп, выходящий с одного конца, может быть преобразован в энергию путем прямого преобразования (МГД), а выхлоп с другого конца может быть расширен в трубке магнитного потока для создания тяги. Зеркала, улучшенные с помощью вихревой технологии, называемые зеркалами с обращенным полем, вводят азимутальный электронный ток, который создает полоидальную составляющую магнитного поля, достаточно сильную, чтобы изменить полярность магнитной индукции вдоль цилиндрической оси. Зеркала, как и все устройства магнитного синтеза, могут легко увеличить свою тягу за счет охлаждения в открытом цикле. — М. Дж. Шаффер, *Рассмотрение стационарного термоядерного космического двигателя на основе FRC, проект General Atomics 4437, декабрь 2000 г.*



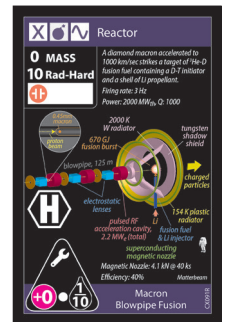
**Фузорный реактор  $\text{H-6Li}$  ( $\text{H-6Li}$  Fusor Reactor)** — фузор Фарнворта-Бюссара представляет собой две заряженные концентрические сферы, болтающиеся в вакуумной камере, производящие синтез за счет инерционного электростатического удержания. Электроны испускаются из внешней оболочки (катода) и направляются к центральному аноду, называемому сеткой. Сетка представляет собой полую сферу из проволоочной сетки с элементами, защищенными магнитным полем, чтобы электроны не ударялись о них. Вместо этого они проносятся прямо сквозь нее, колеблясь взад и вперед вокруг центра, создавая глубокую электростатическую яму, чтобы улавливать ионы лития-6 и водорода, которые образуют термоядерное топливо. При диаметре сетки в один метр и расходе топлива 7 мг/сек вырабатываемая термоядерная мощность составляет 360 МВт. Половина этой энергии приходится на тормозное рентгеновское излучение, которое необходимо улавливать литиевым тепловым двигателем. Другая половина — это изотопы гелия ( $3\text{He}$  и  $4\text{He}$ ), каждый с энергией около 8 МэВ. (Общая эффективность 36%). Поскольку оба продукта имеют двойной заряд, электрическое поле в 4 МэВ будет тормозить их и производить по два электрона от каждого, создавая ток силой 18 А при чрезвычайно высоком напряжении. Электронная пушка, использующая эту энергию в 4 миллиона В, будет испускать электроны с релятивистской скоростью. Этот луч быстро рассеивается в космосе, если только он не нейтрализован позитронами или не преобразован в лазерный луч на свободных электронах. — Р. В. Бассард и Л. В. Джеймсон, *Спектр движения инерционно-электростатического синтеза: от дыхания воздухом до межзвездного полета, Journal of Propulsion and Power, т. 11, вып. 2, стр. 365-372.* (Фило Фарнворт, фермерский мальчик, который изобрел телевизор, провел свои последние годы в одиноком стремлении достичь безудержного термоядерного синтеза в своих сверхдешевых термоядерных устройствах. Благодаря доктору Бассарду его идеи переживают ренессанс, реакторы появляются на школьных научных ярмарках. Исходя из теории о том, что мощность термоядерного фузора ограничена, я уменьшил проект Бассарда мощностью 10 ГВт до 720 МВт.)

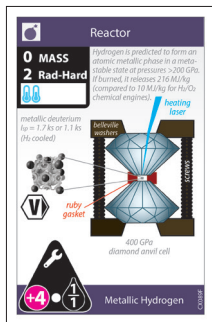


**Реактор с альфа-ловушкой Лаймана (Lyman Alpha Trap Reactor)** — эта фабрика антивещества использует ускоритель протонов на 200 ГэВ, чтобы разбить стопку из нескольких тонких мишеней, окруженных широкими угловыми массивами из нескольких линз с разными допустимыми скоростями. При мощности пучка 0,2 МВт и токе 3,2 мкА каждый десятый падающий протон становится антипротоном. Ливень антипротонов увлекается позитронами с образованием сначала атомарного, а затем молекулярного антиводорода. Этот процесс формирования усиливается в 100 раз оптическим лазером, движущимся навстречу лучам антипротонов и позитронов, как показано на рисунке. Этот луч антивещества охлаждается радиочастотным квадрупольным (RFQ) замедлителем, улавливается лучами альфа-лазера Лаймана и превращается в ледяной шар в световой ловушке Лаймана- $\alpha$ . Ледяной шар превращается в заряженный микрокристалл, левитирующий под действием электростатических сил. Лазеры поддерживают температуру ниже 1 К, чтобы поддерживать низкое давление сублимации. Энергия неиспользованного выходящего потока протонов восстанавливается с помощью МГД или обогащения урана. Производится 10 мкг антиматерии в год.

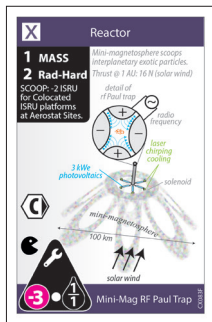


**Термоядерный реактор Macron Blowpipe (Macron Blowpipe Fusion Reactor)** — ускоритель частиц «Blowpipe» состоит из генератора протонного пучка и ряда электростатических линз, разделенных отрицательно заряженными кольцами. Сотни ВЧ-магнетронных полостей в генераторе луча, каждая из которых передает 2,68 мкДж на частоте 1 ГГц, производят протонный ток 134 кА. Низкая энергия луча (10 кэВ) означает, что линзы необходимы для сохранения фокуса. Ускоритель длиной 250 метров разгоняет макрон до 1000 км/сек за полмиллисекунды. Макрон поражает цель из льда D-T, заключенного в большее количество топлива  $3\text{He-D}$ , и служит для последнего системой «быстро воспламенения». Ударная волна гораздо более эффективна, чем лазерная абляция, для воспламенения DT; Требуется 0,67 мДж (что соответствует массе снаряда 1,34 миллиграмма). Масса 0,5 миллиграмма DT воспламеняется, что, в свою очередь, приводит к воспламенению 10 миллиграммов  $3\text{He-D}$ . В результате получается взрыв мощностью 667 МДж. Эта энергия составляет 80% заряженных частиц, половина которых перехватывается полусферическим магнитным соплом. Все, кроме 0,2% остальных продуктов (10% нейтронов, 10% рентгеновских лучей) летят в космос. Поскольку выходная скорость (11 000 км/с) чрезмерна для межпланетного путешествия, 3-граммовая оболочка из литиевого топлива толщиной 8,4 мм окружает термоядерное топливо с зазором для входа макрона. Он поглощает 5% энергии нейтронов и всю энергию заряженных частиц. Он снижает полезную плотность энергии реакции синтеза с 44,8 ТДж/кг до 178 ГДж/кг, повышая при этом среднюю молярную массу образующейся плазмы с 2,5 г/моль до 7 г/моль. При частоте срабатывания 3 Гц вырабатывается два гигаватт тепловой мощности. Датчик МГД в сопле используется для выработки 2,3 МВт для запуска магнетронов. Масса трубы ускорителя составляет 13 тонн, плюс еще 3 тонны для генератора протонов и 2 тонны для сопла. — Ю. Накао, *Свойства воспламенения и горения топлива DT/D  $3\text{He}$  для термоядерного синтеза с инерционным удержанием с быстрым воспламенением, 2009 г.; Малик К. (Matterbeam), 2019.*

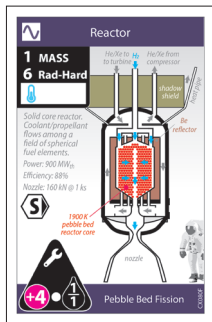




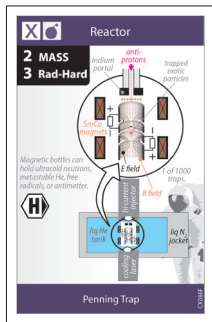
**Реактор с металлическим водородом (Metallic Hydrogen Reactor)** — давление 25 ГПа, необходимое для существования металлического водорода, может быть значительно снижено как за счет легирования литием, так и за счет его захвата криогенно замороженным твердым водородом. SiH<sub>4</sub> даже при умеренных давлениях образует подрешетку металлического водорода. Дейтерий легче металлизировать, чем водород, для этого требуется менее трети давления, а твердый D<sub>2</sub> достигается при комнатной температуре. Когда решетка метастабильного металлического водорода нагревается выше 1000 К при давлении 40 бар, метастабильность нарушается, и решетка водорода рекомбинирует в газообразный водород, высвобождая при этом 216 МДж/кг (LOX-H<sub>2</sub> имеет плотность энергии 10 МДж/кг). Чистый металлический водород может давать удельный импульс 1,7 кс, но это приводит к температуре реакционной камеры выше 6000 К. Реактор охлаждается водородом для более скромного удельного импульса 1,1 кс. — Я. Сильвера, Дж. Коул, *Металлический водород: самое мощное ракетное топливо из когда-либо существовавших*. 2010 г.; Ранга Диас, Исаак Сильвера, *Наблюдение перехода Вигнера-Хантингтона к металлическому водороду*, 2017 г.



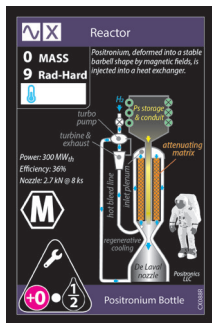
**Реактор с ловушкой Пауля с применением мини-магнитосферы (Mini-Mag RF Paul Trap Reactor)** — природную космическую среду можно использовать в качестве низкоэнергетического аккумулятора для хранения различных экзотических частиц, включая антиматерию. Это устройство превращает космический корабль в проточный воздушно-реактивный двигатель Бассарда. «Совок», огромный (100 км) магнитный пузырь, называемый «мини-магнитосферой», надувается проводящим ионизированным газом или плазмой. Силовые линии генерируются бортовыми соленоидами, питаемыми фотогальваническими элементами мощностью 3 кВт. Резервуар гелия пополняется ионами, вытекающими из плазмы. Силовые линии мини-магнитосферы направляют солнечный ветер на цель из тяжелого металла. Образовавшийся спрей фотонов и пар частица-античастица содержат небольшую долю (<5%) пар протон-антипротон. Они магнитно фокусируются, разделяются и охлаждаются с помощью лазерного щетбетания и радиочастотных (РЧ) полей и сохраняются вместе с позитронами в низкоэнергетической антипротонной ловушке Пауля. Нейтральный водород из антивещества и другая экзотика конденсируются в виде электростатически взвешенных ледяных шариков. Образуется несколько микрограммов в год ледяных конденсатов антиматерии с плотностью, приближающейся к 10<sup>23</sup> атомов/см<sup>3</sup>. Мини-магнитосфера также может действовать как парус, получая тягу от солнечного ветра. — Роберт М. Зубрин, *Использование магнитных парусов для побега с низкой околоземной орбиты*, Журнал Британского межпланетного общества, Vol. 46, стр. 3-10, 1993.



**Ядерный реактор с насыпной активной зоной (Pebble Bed Fission Reactor)** — это ядерный реактор с графитовым замедлителем и газовым охлаждением, в котором используются сферические топливные элементы, называемые «камешками». Эти камешки размером с теннисный мяч сделаны из пиролитического графита (который действует как замедлитель) с вкраплениями тысяч микрочастиц делящегося топлива (такого как <sup>235</sup>U). В показанном реакторе 2,7 миллиона камешков помещаются вместе, чтобы создать реактор мощностью 900 МВт. Пространства между камешками образуют «трубопровод» в активной зоне для хладагента, либо ракетного топлива, либо инертного газа He/Xe. Проиллюстрированная конструкция является двухрежимной. Она может работать либо как генератор на 240 МВт электроэнергии, либо как твердоотопливный двигатель, использующий водородное топливо/хладагент, выбрасываемый с удельным импульсом 1 кс. При использовании в качестве двигателя он обеспечивает небольшое увеличение удельного импульса, но дает значительные преимущества в ускорении по сравнению с традиционными ядерными реакторами. Более того, высокие температуры (2400 К) обеспечивают более высокую тепловую эффективность (до 50%).

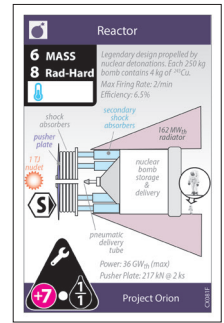


**Реактор-ловушка Пеннинга (Penning Trap Reactor)** — экзотическое топливо, производимое в сверхпроводящем суперколлайдере, может охлаждаться с помощью радиочастотного квадрупольного (RFQ), храниться и транспортироваться в космос в термосах-ловушках объемом в литр. Например, тысяча таких ловушек, каждая весом 80 кг, могла бы содержать 10<sup>17</sup> антипротонов (140 нг), топлива, достаточного для дельта-v 100 км/сек. Другие виды топлива включают метастабильный гелий, ультрахолодные нейтроны и свободнорадикальный водород. Ловушка Пеннинга использует комбинацию лазерного охлаждения и электромагнитных полей для хранения частиц. Каждая из них способна хранить больше частиц (10<sup>14</sup>), чем радиочастотные ловушки Пауля, а также не использует динамические радиочастотные поля, которые могут нагревать захваченное топливо.

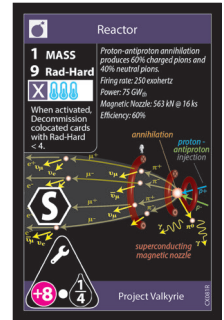


**Позитрониевый бутылочный реактор (Positronium Bottle Reactor)** — позитроний (Ps), состоящий из электрона и позитрона, представляет собой наименьший возможный «атом», поскольку оба компонента представляют собой бесструктурные точечные лептоны (масса 1,82 × 10<sup>-30</sup> кг по сравнению с 1,67 × 10<sup>-27</sup> кг для водорода). В зависимости от спинового состояния пара-Ps имеет время жизни 0,125 нс, в то время как орто-Ps имеет время жизни 142 нс до распада на два или три гамма-кванта соответственно. Ps можно стабилизировать, закрепив электрон и позитрон в магнитном поле, в то время как скрещенное электрическое поле растягивает атом на расстояние до 400 нм. Это увеличивает потенциальный барьер, через который лептоны должны туннелировать, чтобы аннигилировать друг друга, увеличивая время их жизни до года. Пучок Ps создается путем воздействия пучка позитронов на вольфрамовую мишень. Сами позитроны образуются в результате естественного распада <sup>22</sup>Na, период полураспада которого составляет 2,6 года, прежде чем он испускает гамма-лучи и позитрон и распадается на <sup>22</sup>Ne. <sup>22</sup>Na получают путем растворения алюминия, облученного протонами, в соли соляной кислоты, обогащенной натрием. Полученный пучок позитрония стабилизируется в скрещенных электромагнитных полях и направляется на наночипы с квантовыми точками размерами 1 см × 11 мкм. Каждая квантовая точка внутри чипа удерживает в потенциальных ямах до 1000 Ps. В чипе может храниться до 10<sup>11</sup> атомов Ps при температуре 25 мК. При полной мощности может производиться и храниться 15 миллиардов чипов. К сожалению, из-за характера производства и хранения быстрая взрывная аннигиляция невозможна, а должна происходить с постоянной скоростью посредством возбуждения УФ-лазерами. — К. Эдвардс, *Движение и мощность с позитронами*, 2004 г.; Акерманн, Шерцер, Шмельхер, *Долгоживущие состояния позитрония в скрещенных электрическом и магнитном полях*, 1997.

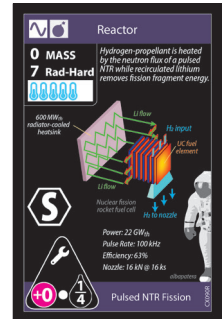
**Реактор проекта «Орион» (Project Orion Reactor)** — эта легендарная технология должна преобразовывать импульсы небольших ядерных взрывов в тягу. Каждая из небольших кумулятивных бомб имеет массу 250 кг (включая топливо) и мощность в четверть килотонны (1 тераджоуль). Делящимся материалом является кюрий-245 с критической массой 4 кг, окруженный бериллиевым отражателем. Мягкое рентгеновское излучение, ультрафиолетовое излучение и плазма от внешнего взрыва испаряют и сжимают топливо до грамма на литр, представляя собой смесь воды, азота и водорода, взаимодействует с «соплом» толкающей пластины, которое может быть твердотельным или магнитным. Показана сплошная пластина, которая сужается к краям (чтобы поддерживать постоянную результирующую скорость пластины при большей передаче импульса в центре). Давление на пластину достигает 690 МПа в центре. Импульсный удар поглощается комплектом пневматических «шин», за которыми следуют газонаполненные поршни, расстроенные на максимальную частоту детонации один раз в 30 секунд. Это соответствует 33 ГВт энергии взрыва, из которых 6,5% используется для тяги. — *Джордж Дэйсон, Генри Холт и компания, Проект Орион, 2002 г. (классическая конструкция Теда Тейлора, оптимизированная для бомб малой мощности и удельного импульса 2 кс).*



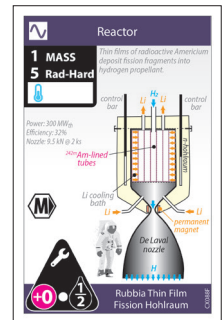
**Реактор проекта «Валькирия» (Project Valkyrie Reactor)** — эта ракета с ядром из пучка антивещества использует высокотемпературное сверхпроводящее магнитное сопло для направления заряженных пионов, образующихся в результате аннигиляции равных количеств протонов и антипротонов, для создания тяги. Эти пионы, движущиеся с околосветовой скоростью, проходят 21 м за 70 наносекунд, прежде чем распадаются на заряженные мюоны и нейтрино. Мюоны могут пройти еще 1,85 км (за 6,2 микросекунды при 0,995 c), прежде чем распасться на электроны и позитроны. Наряду с образовавшимися заряженными пионами нейтральный пион быстро распадается (в пределах 60 нм) на гамма-лучи с энергией 200 МэВ. Камера реактора сделана максимально прозрачной, чтобы эти гамма-лучи могли уйти в космос. Даже в этом случае требуются значительные радиаторы для рассеивания тепла, поглощаемого экраном магнитной катушки. Кроме того, критические компоненты (например, экипаж) должны быть удалены от этого реактора на десятки километров. Прикрепляя тросы такой длины к задней части двигателя, чтобы груз буксировался, а не толкался, достигается значительная экономия веса. Теневые экраны из вольфрама установлен на 2/3 длины троса для дополнительной защиты. Производство и хранение антивещества является основным ограничивающим фактором в реализации этой конструкции двигателя, но обозримое масштабирование с использованием современных технологий делает его возможным для межпланетных миссий. — *Р. Фрисби, Как построить ракету на антивеществе для межзвездных миссий, 2003 г.*



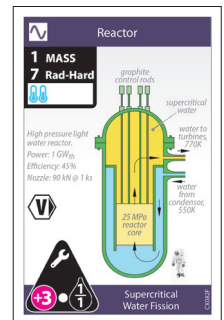
**Импульсный реактор деления в ЯРД (Pulsed NTR Fission Reactor)** — эта ядерная тепловая ракета использует твердое топливо в виде пластин, но, в отличие от большинства ЯРД, работает в импульсном, а не в стационарном режиме. Интенсивный поток нейтронов передает энергию ракетному топливу кинетически, а не термически, позволяя топливу нагреваться больше, чем реактор. Топливо должно быть выброшено как можно быстрее (десятки миллисекунд), чтобы не потерять тепло при радиационном охлаждении. Энергия осколков деления, составляющая 95% энергии импульсной реакции, является нежелательной и должна постоянно отводиться с помощью вспомогательной системы отвода тепла из лития. Это подразумевает большую выделенную поверхность теплопередачи, охлаждаемую радиаторами. Этот недостаток делает сомнительной его заявленную полезность в качестве двигателя космического корабля, даже с высоким удельным импульсом (8 кс и более). — *Франсиско Ариас, Об использовании импульсной ядерной тепловой ракеты для межпланетных путешествий, 2016 г.*



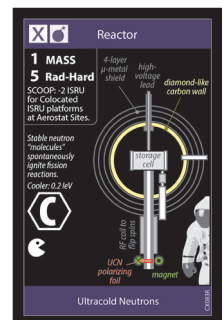
**Реактор тонкопленочного деления Руббии (Rubbia Thin Film Fission Hohlräum Reactor)** — эту концепцию можно рассматривать как обратную NERVA, поскольку поверхностный слой деления осаждается на внутренней стенке реакционной камеры, а не в виде активной зоны. Этот очень тонкий слой метастабильного  $^{242m}\text{Am}$  может поддерживаться при разумной температуре, в то время как половина фрагментов термализуется внутри закачиваемого водородного топлива. Однако другая половина осколков, впрыскиваясь в стенки, нуждается в охлаждении и излучении. Основное преимущество состоит в том, что топливо может нагреваться сильнее, чем твердые стенки реактора, сохраняя при этом более простую (и более легкую) систему твердотельного реактора (по сравнению с NERVA). Поскольку  $^{242m}\text{Am}$  никогда не может стать критическим, для начала деления требуется внешний источник нейтронов в виде ускорителя протонов против вольфрамовой мишени. — *С. Руббия, 1998 год; Чини и Бруно, Будущие двигатели установки космических кораблей, 2006 г.*



**Реактор деления на сверхкритической воде (Supercritical Water Fission Reactor)** — сверхкритическое состояние — это состояние, в котором нет разницы между газообразным и жидким состоянием. Сверхкритическая вода используется в качестве рабочего тела в конструкции реактора IV поколения, что позволяет добиться более высокого теплового КПД по сравнению с другими конструкциями легководных реакторов. Этот реактор устраняет необходимость для рециркуляции, струйных насосов, компенсаторов давления, парогенераторов, паровых сепараторов и осушителей. Активная зона реактора работает при 25 МПа с расчетным допуском до 27,5 МПа. Вода при температуре 550 К подается в реактор со скоростью 527 л/с, а выходит при температуре 770 К, что дает 1 ГВт. В массе реактора преобладает защитная оболочка высокого давления со стенками из высококачественной стали толщиной 25 см, но это снижает требуемую защиту. — *Buongiorno, Swindeman, et al., Реактор на сверхкритической воде (SCWR). Обзор материального опыта и потребностей в исследованиях и разработках для оценки жизнеспособности, 2003 г. В уменьшенном масштабе до 80 тонн и 1 ГВт.*



**Реактор на ультрахолодных нейтронах (Ultracold Neutron Reactor)** — обычно нейтроны представляют собой нестабильные частицы с периодом полураспада 12 минут. Считается, что при поляризации и сверхохлаждении (с использованием вибрационных установок или турбин) с образованием динейтронной или тетранейтронной фазы они стабильны и могут храниться в бутылках с полным внутренним отражением, облицованных алмазоподобным углеродом в качестве отражателя нейтронов. Ультрахолодные нейтроны (УХН) имеют огромную квантово-механическую длину волны вследствие их медленного движения и, таким образом, могут спонтанно инициировать реакции деления, такие как  $n-^{235}\text{U}$  или  $n-^{6}\text{Li}$ . Если источником нейтронов является ядерный реактор, то нейтроны необходимо охладить с 2 МэВ до 2 мэВ с помощью тяжеловодного замедлителя, а затем охладить в турбине УХН до 0,2 эВ.



**Реактор с паровой активной зоной (VCR Light Bulb Fission Reactor)** — большинство реакторов деления избегают расплавления, но реактор с паровой активной зоной (VCR) работает так сильно (25000 K), что его активная зона испаряется. При этой температуре подавляющее большинство электромагнитных излучений находится в жестком ультрафиолетовом диапазоне. «Колба», прозрачная для этого излучения, сделанная из  $\alpha$ -кремнезема с внутренним охлаждением, закупоривает газообразный гексафторид урана, пропуская при этом энергию деления. Рабочее давление 1000 атм. Конденсация топлива UF<sub>6</sub> на охлаждаемой стенке предотвращается вихревым полем течения, создаваемым тангенциальным впрыском неоновом «буферного» газа вблизи внутренней части прозрачной стенки. В режиме генератора УФ использует фотоэлектрические элементы для выработки электроэнергии. В двигательном режиме УФ нагревает затравленное водородное топливо, которое выходит с удельным импульсом 2 кс.

## 27. Карты радиаторов

Каждый космический корабль и космическая станция аккумулирует отработанное тепло солнечного света, жилых помещений, реакторов и двигателей. Без подходящей планеты или атмосферы нет другого способа избавиться от тепла, кроме как излучением. Если радиатор выйдет из строя, космический корабль в конечном итоге расплавится. Отводное тепло = (коэффициент излучения) \* (площадь радиатора) \* (постоянная Стефана-Больцмана) \* (температура)<sup>4</sup>. Поскольку размер радиатора уменьшается как четвертая степень температуры излучения, удвоение температуры двигателя (скажем, с 1000 К до 2000 К) означает, что радиатор будет в 8 раз меньше. С другой стороны, вы можете излучать в 8 раз больше отработанного тепла из радиатора того же размера, работающего в два раза горячее. Если ваше отработанное тепло имеет слишком низкую температуру, вам потребуются электрические тепловые насосы, чтобы поднять его до рабочей температуры радиаторов игры, около 1200 К. Современные тепловые насосы выдерживают 0,5 МВт/тонну. В противном случае вы столкнетесь с акрами радиаторов, необходимых для отвода тепла. Предполагается, что ракеты GW в игре используют расширенные возможности, чтобы работать с большей температурой, около 1427 К вместо 1200 К для ракет MW. Это означает, что для ракет GW каждый «терм» тепла излучает в два раза больше мощности, чем для ракет MW: 240 МВт вместо 120 МВт. А ракеты TW работают еще горячее, 2000 К или 960 МВт на каждый терм. В этот момент, за исключением теплоизолированной полезной нагрузки, вся ракета раскаляется добела.

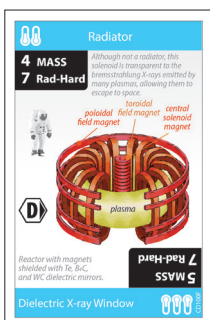
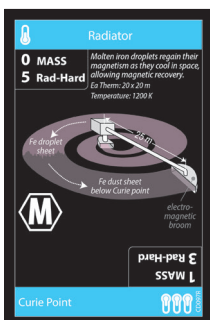
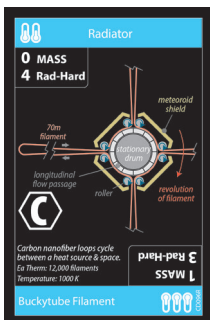
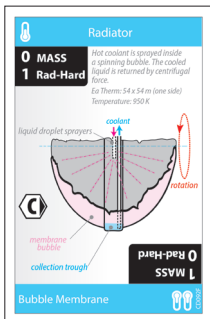
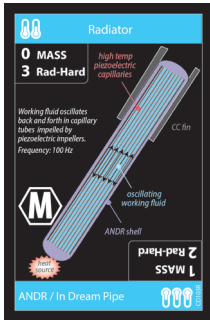
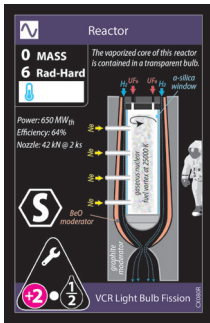
**ANDR/In Dream Pipe** — тепловая трубка с индием в качестве рабочего тела может работать при температуре от 2000 К до 3000 К, что выше, чем у любого другого металла. Однако его нижний предел работы также выше и в идеале должен работать при температуре выше 2353 К (температура кипения при 1 атм). Кроме того, его низкая температура замерзания делает его особенно привлекательным при холодном пуске. Однако из-за его высокой коррозии индий в значительной степени игнорировался в качестве рабочей жидкости. При температурах, приближающихся к 3000 К, будут работать только углеродная стенка и система вольфрамового фитиля. Здесь стенка состоит из агрегированных алмазных наностержней (или гипералмаза), полученных при сжатии фуллерена. Этот материал с изотермическим модулем объемного сжатия 491 ГПа тверже и менее сжимаем, чем алмаз, и обладает повышенной износостойкостью. В качестве изоляции на адиабатическом участке используется углеродный аэрогель. Из-за короткого срока службы тепловой трубы (~2200 часов или 3 месяца) в наличии имеется несколько резервных труб, в то время как загрязненные трубы автоматически заменяются и ремонтируются контролирующими роботами.

**Пузырьково-мембранный радиатор (Bubble Membrane Radiator)** — в этом радиаторе расплывается горячая охлаждающая жидкость внутри вращающейся мембраны в форме пузыря. Охлажденная жидкость возвращается центробежной силой. Мембрана изготавливается в космосе из углеродных нанотрубок, плетёных металлокерамических тканей или других передовых материалов. Двухфазная рабочая жидкость (горячая жидкость или газ) центробежно нагнетается к пузырьковой мембране, где расплывается на внутреннюю поверхность. Жидкость смачивает внутреннюю поверхность сферы и в виде жидкой пленки под действием центробежной силы оттекает к экваториальной периферии сферы; расположенные там жидкометаллические насосы возвращают жидкость из сферы через вращающиеся уплотнения вала к ее источнику. По мере того, как жидкость течет по внутренней поверхности оболочки, она теряет тепло за счет теплового излучения от внешней поверхности баллона. Удельная площадь 7 кг/м<sup>2</sup>, излучающая с одной стороны 950 К.

**Радиатор накаливания Баки (Buckytube Filament Radiator)** — отработанное тепло можно отводить, перемещая тысячи петель из тонких (1 мм) гибких «Buckytubes» (углеродных нанотрубок), которые излучают свою тепловую нагрузку перед возвратом в теплообменник. Кабели, изготовленные из нанотрубок типа Argmchair, являются самыми прочными из известных кабелей с расчетной прочностью на растяжение около 70% от теоретического значения 100 ГПа. Движущиеся нити нагреваются за счет прямого контакта вокруг молибденового барабана, заполненного нагретой рабочей жидкостью, а затем вытягиваются в космос на расстояние 70 м по инерции вращения. Их скорость варьируется в зависимости от излучаемой температуры. Петли имеют избыточную оплетку, чтобы предотвратить одноточечные отказы от микрометеороидов. Каждый элемент подвергается термообработке при температуре 3300 К для увеличения теплопроводности за счет графитизации примерно до 2500 Вт/мК. На один терм требуется около 12 000 нитей весом 77 г/нить, которые покидают космический корабль со скоростью ю 100 м/с и возвращаются через несколько секунд. — Ричард Дж. Флаэрти, Анализ теплопередачи и веса системы радиатора с подвижным ремнем для удаления отходов в космосе, Исследовательский центр Льюиса, Кливленд, Огайо, 1964.

**Радиатор с точкой Кюри (Curie Point Radiator)** — ферромагнитный материал, нагретый выше точки Кюри, теряет свой магнетизм. Если расплавленные капли такого вещества бросить в космос, они излучают тепло и затвердевают. Когда их температура Кюри ниже, они восстанавливают свои магнитные свойства и могут направляться магнитным полем в коллектор и возвращаться в теплообменник. Масса для системы мощностью 120 МВт, работающей при температуре 1200 К, включает 13-тонный магнитный теплообменник и вращающийся электромагнит для улавливания пыли на 25-метровой стреле, а также 7 тонн пыли, разбросанной по спиральному диску диаметром 27 метров. Обычной средой является железная пыль, которая имеет точку Кюри 1043 К и легко удаляется из реголита магнитным обогащением.

**Диэлектрический рентгеновский оконный излучатель (Dielectric X-ray Window Radiator)** — к сожалению, нейтронное топливо, предпочитаемое для двигателей, излучает значительное тормозное излучение (рентгеновское излучение, создаваемое «заторможенными» электронами). Например, реактор с магнитным ограничением, сжигающий топливо 3He-D, излучает более 16% своей энергии в виде рентгеновского излучения с энергией 100 кэВ. Для топлива H-11B она составляет 63% при энергии 300 кэВ. Такие рентгеновские лучи легко поглощаются и преобразуются в тепло толщиной менее миллиметра стали, что увеличивает тепловую нагрузку корабля. Реактор с диэлектрическим окном избегает этого, нагревая плазму сильнее, чем обычно, и ограничивая ее полями, а не твердыми стенами, позволяя излучению безвредно проходить в космос.



Высокотемпературные сверхпроводящие магниты реактора и сопла защищены от рентгеновского излучения диэлектрическим зеркалом, состоящим из слоев теллура, карбида вольфрама и полимеров. Отражательная способность многослойных тонких пленок может быть чрезвычайно высокой, если пленки состоят из пар четвертьволновых слоев диэлектриков с низким коэффициентом поглощения. Прототипы, изготовленные в Массачусетском технологическом институте, отражают 99% падающего на них света при максимальной удельной энергии 3 МВт/м<sup>2</sup> и удельной массе 1600 кг/м<sup>2</sup>. Оставшийся 1% тепла отводится охлаждающей жидкостью Li и отводится радиаторами или охлаждением открытого цикла. Часть, ограниченная циклом Карно, восстанавливается в тепловом двигателе (например, в горячей литиевой турбине) для запуска воспламенителей. – *Кен Рахоки, LANL, 2006 г.*

**Электростатический мембранный радиатор (Electrostatic Membrane Radiator)** — эта концепция отвода тепла, также называемая жидкостным радиатором, заключающим излучающую жидкость в прозрачную оболочку. Он состоит из вращающегося мембранного диска, надуваемого низким давлением газа, по внутренним поверхностям которого циркулирует охлаждающая жидкость с электростатическим приводом. Жидкий хладагент имеет толщину всего 300 мкм и имеет коэффициент оптического излучения 0,85 при температуре 1000 К. Электрическое поле используется для снижения давления под пленкой хладагента, чтобы избежать утечки через прокол в стенке мембраны. Мембрана имеет удельную площадь 4,3 кг/м<sup>2</sup>.

**Радиатор с заряженной пылью ETHER (ETHER Charged Dust Radiator)** — чтобы избежать потерь при испарении, возникающих у радиаторов, которые используют капли жидкости в космосе, пылевые радиаторы используют твердые частицы пыли. Если частицы заряжены электростатически, как в электростатическом тепловом радиаторе (ETHER), они ограничиваются силовыми линиями, создаваемыми заряженным генератором и поверхностями его коллектора. Если космический аппарат заряжается противоположно заряду излучающих частиц, то пыль двигается по эллиптической орбите. Излучающие частицы должны быть заряжены до 10<sup>-14</sup> Кл, чтобы предотвратить нейтрализацию от солнечного ветра. Пыль излучает при температуре 1200 К с удельной площадью 71 кг/м<sup>2</sup>. – *Пренгер 1982.*

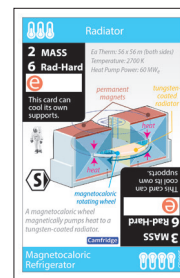
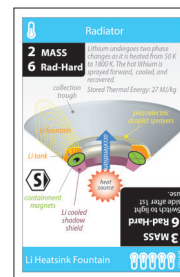
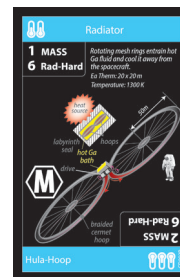
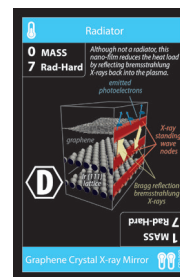
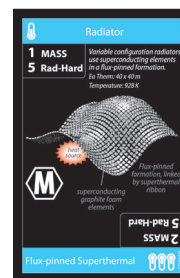
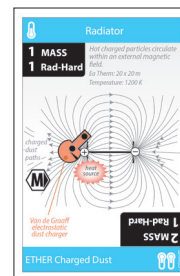
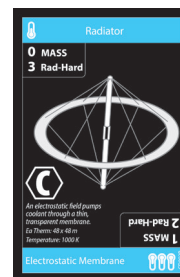
**Сверхтепловой радиатор с закрепленным потоком (Flux-pinned Superthermal Radiator)** — радиаторы с переменной конфигурацией используют удивительную физику высокотемпературных потоковых сверхпроводников. Эти материалы сопротивляются перемещению в магнитных полях. Излучающие элементы перемещаются в закрепленном потоке, не соприкасаясь физически, а соединяясь сверхтепловой полосой. Гипотетически сверхтепловые соединения проводят тепло так же легко, как сверхпроводящие материалы проводят электричество. Излучающие поверхности представляют собой вспененный графит, обладающий как высоким коэффициентом излучения (0,9), так и высокой теплопроводностью (1970 Вт/м·К), если тепло проходит в направлении, параллельном слоям кристалла. Работающая при температуре 928 К, сверхтепловой радиатор имеет удельную площадь 17 кг/м<sup>2</sup> и 76 кВт/м<sup>2</sup>. – *Доктор Мейсон Пек, 2005 г.*

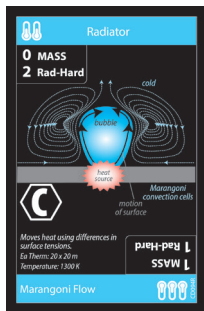
**Радиатор с рентгеновским зеркалом на графеновом кристалле (Graphene Crystal X-ray Mirror Radiator)** — неосуществленная мечта в области термоядерной энергетики — это легкое рентгеновское зеркало, способное отражать тормозное излучение обратно в термоядерную зону. Одна из гипотетических схем представляет собой графен на нанопленке Ir (111) при активной обратной связи. Рентгеновская стоячая волна (XSW) является периодической с плоскостями решетки Iridium (111), расположенными на 0,3 нм ниже графеновой ячейки. Максимумы СРВ сдвинуты внутрь на половину расстояния в плоскости решетки при сканировании по брэгговскому отражению в соответствии с энергией пучка. Атомы, подвергшиеся воздействию максимума поля стоячей волны, сильно фотовозбуждены. Мониторинг фотоэлектронного сигнала с помощью пары структурированных лазеров позволяет осуществлять активное управление с обратной связью. Хотя само зеркало не является излучателем, температура плавления графена составляет 4900 К, самый высокий показатель в природе, допускающий высокотемпературное охлаждение радиатора. Кроме того, отраженные рентгеновские лучи значительно снижают общее количество отработанного тепла. Зеркало работает при максимальной удельной энергии 2 МВт/м<sup>2</sup> и удельной массе 320 кг/м<sup>2</sup>. – *Шу Ни и др., Sandia National Laboratories, 2011.*

**2-обручный радиатор (Hula-Hoop Radiator)** — передает тепло двойным шайбообразным диском посредством прямой теплопередачи. Они устойчивы к ударам микрометеоритов. Каждый обруч диаметром 100 м изготовлен из плетеной металлокерамики, покрытой графитом, и смазанной в теплообменнике дисульфидом вольфрама (WS<sub>2</sub>). Излучая 1300 К, Hula-Hoop имеет удельную площадь 33 кг/м<sup>2</sup>. – *Автором этот дизайна является Эклунд.*

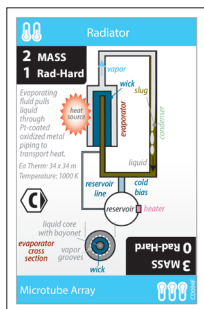
**Литиевый радиатор фонтанного типа (Li Heatsink Fountain Radiator)** — конструкция фонтана распыляет охлаждающую жидкость вперед от ускоряющегося космического корабля, где она охлаждается и восстанавливается, когда падает обратно в желоб для сбора. Теплоноситель представляет собой жидкий металл, например литий, легированный наночастицами бора. Это может привести к получению хладагента со свойствами, промежуточными между этими материалами, с низкой плотностью и высокой удельной теплоемкостью лития и высокой температурой кипения бора. Легирование углеродом может быть необходимо для улучшения низкой излучательной способности жидких металлов. Литий претерпевает два фазовых превращения при нагревании от 50 К до 1800 К.

**Магнитокалорический холодильный радиатор (Magnetocaloric Refrigerator Radiator)** — магнитный холодильник использует магнитокалорический эффект (способность некоторых материалов нагреваться при намагничивании и охлаждаться при удалении из магнитного поля). Часто используемое для криогенных охладителей внешнее магнитное поле в сочетании с источником тепла магнитной подрешетки снижает общую энтропию в твердом теле и заставляет его излучать тепло. Хотя обычно используется элемент гадолиний, многочисленные кристаллы новых сложных сплавов продемонстрировали магнитокалорический эффект на 2-3 величины больше при температурах выше 350 К (гигантский магнитокалорический эффект) в полях от 1 до 15 Тл. Это обеспечивает лучшие потери тепла на излучение, чем у пассивного идеально черного тела (т.е. эффективный коэффициент излучения выше 1). Такие сплавы можно использовать как проводник для откачки тепла от обшивки ракеты и сверхтонких фольгированных радиаторов. –*В.К. Печарский, К. А. Гшайнднер, Перспективные материалы для магнитного охлаждения, 2007; С. Дженнелсен, Магнитокалорические материалы, 2008 г.*

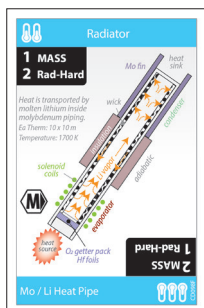




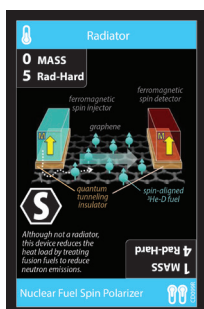
**Поточный радиатор Марангони (Marangoni Flow Radiator)** — в условиях невесомости градиент поверхностного натяжения может создать тепловой насос без движущихся частей или управлять процессами микроочистки. Это явление, называемое эффектом Марангони, перемещает жидкость из области с высоким поверхностным натяжением в область с низким поверхностным натяжением. — Г. Гарри Стайн, *Третья промышленная революция*, 1979.



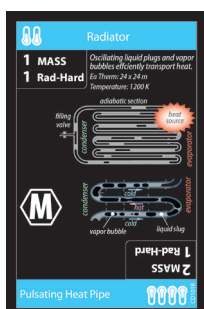
**Радиатор с массивом микротрубок (Microtube Array Radiator)** — нанотехнологии позволяют изготавливать большие параллельные массивы трубок очень малого диаметра для высокоэффективных радиаторов. Излучающая поверхность состоит из сильно окисленного металлического сплава с нанесенной на него пленкой толщиной 100 нм из коррозионно-стойкого тугоплавкого сплава платины. Рабочим телом является водород, который имеет низкие насосные потери и самую высокую удельную теплоемкость из всех материалов. Эта жидкость под давлением от 0,1 до 1 МПа циркулирует по микротрубкам, и большая часть излучения происходит от их стенок толщиной всего 0,2 мм. Это позволяет получить удельную площадь 34 кг/м<sup>2</sup>. Температура отбраковки для труб из титанового сплава составляет от 200 К до 1000 К, если используется высокотемпературный барьер для диффузии водорода. Проиллюстрированная конструкция представляет собой насосно-петлевую систему, приводимую в движение испаряющейся рабочей жидкостью. — Ф. Дэвид Доти, Грегори Хосфорд и Джонатан Б. Спичмессер, *Теплообменник с микротрубками - Space Power Applns. для газогазообменников сверхвысокой проводимости*, 1990.



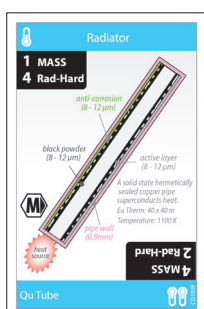
**Радиатор с Mo/Li тепловыми трубками (Mo/Li Heat Pipe Radiator)** — тепловая трубка быстро передает тепло от одной точки к другой. Внутри герметичной трубы на горячей границе двухфазная рабочая жидкость превращается в пар, а газ естественным образом течет и конденсируется на холодной поверхности. Жидкость перемещается за счет капиллярного эффекта через фитиль обратно к горячей границе раздела, чтобы снова испариться и повторить цикл. Для высокотемпературных условий рабочей жидкостью часто является литий, который является самым легким из известных металлов. Молибденовые тепловые трубки, содержащие литий, могут работать при раскаляющих добела температурах 1700 К и передавать тепловую энергию в четыре раза больше, чем поверхность солнца. — Дэвид Постон, *Институт космических и ядерных исследований Университета Нью-Мексико*, 2000 г.; М. Эль Генк, Дж. М. Турнье, *Использование жидкотеплопроводящих и водяных тепловых трубок в энергосистемах космических реакторов*, 2011.



**Поляризатор вращения ядерного топлива (Nuclear Fuel Spin Polarizer)** — синтез гелия-3 и дейтерия страдает от побочных реакций, таких как, например, увеличение производства нейтронов. Спин-поляризующий <sup>3</sup>He-D и другие анейтронные термоядерные топлива не только подавляют побочные реакции, но и повышают реактивность. Поляризация достигается путем квантового туннелирования через изолятор MgO в слой атомов углерода толщиной в один атом, выстроенный в виде сот, известный как графен. Чрезвычайно прочный и гибкий графен обладает хорошей электропроводностью, термостойкостью и одними из лучших характеристик спин-транспорта среди всех известных материалов при комнатной температуре. После квантового туннелирования топливо дополнительно обрабатывается радиочастотным облучением, катализаторами преобразования частиц симметрии, пространственным расположением молекулярных частиц и программой отжига. Быстрая деполаризация плазмы предотвращается путем обеспечения покрытия первой стенки, сформированного из неметаллического материала с низким Z, имеющего скорость деполаризации более 1/сек. — Роланд Каваками, *Kawakami Laboratories, Калифорнийский университет в Риверсайде*, 2012 г.

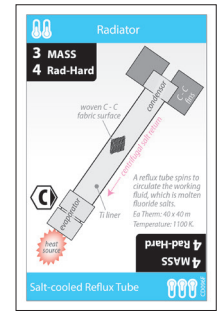


**Радиатор с пульсирующей тепловой трубкой (Pulsating Heat Pipe Radiator)** — новая концепция в технологии тепловых трубок (пульсирующая тепловая трубка), представляет собой извилистую капиллярную замкнутую систему, которая работает как неравновесное устройство теплопередачи. При первом добавлении рабочей жидкости в откачиваемую трубу образуется система естественно образующихся жидкостных пробок и пузырьков пара. Тепловая энергия создает пульсирующее движение, обусловленное главным образом поверхностным натяжением, которое колеблется между пробками и пузырьками, что приводит к очень высокому коэффициенту теплопередачи для данного объема (водяно-медный PHP имеет коэффициент передачи в 10 раз больше, чем у алмаза). PHP лучше работает в условиях микрогравитации, чем на Земле. Различный диаметр между параллельными каналами вызывает циркуляцию потока и дополнительно увеличивает пропускную способность. Эту технологию еще предстоит оптимизировать и полностью смоделировать. Здесь калиевая рабочая жидкость с наночастицами алмаза (для повышения теплопроводности) течет по трубке из углеродистой стали диаметром 0,7 мм.

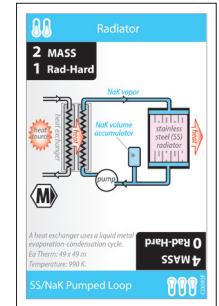


**Радиатор с трубкой Qu (Qu Tube Radiator)** — тепловые трубки, особенно на больших расстояниях, имеют ограничения по скорости теплопередачи по скорости потока и времени перехода между жидким и паровым состояниями. Это ограничение удалось обойти в трубке Qu, впервые запатентованной доктором Юйжи Цюй в Китае в 1989 году. Эта герметичная медная трубка толщиной 0,9 мм содержит три тонких слоя (8-12 мкм) сложной смеси химических веществ, включающих более дюжины различных химических веществ металлов от натрия и бериллия до алюминия и β-титана и их различных оксидов. Начиная с внутренней стены идет антикоррозийная обработка слой, активный теплопроводный слой и слой дымного пороха. Активный слой работает за счет ускорения молекулярных колебаний и трения, связанных с третьим тепловыделяющим слоем. Эта трубка представляет собой твердотельный тепловой сверхпроводник, который может работать в широком диапазоне температур без градиента (более чем в 10 000 раз больше, чем у серебра, и в сотни раз лучше, чем у обычных тепловых трубок). В результате трубка Qu особенно чувствительна к отрицательному эффекту от масштаба. Удельная площадь 7,2 кг/м<sup>2</sup> при 630 – 650 К, частота колебаний 280 МГц. В патенте заявлено, что он может работать при температуре до 2000 К, но испытания проводились только в диапазоне 300–400 К. Я выбрал разумные 650 К, которые являются верхним пределом колебаний, указанным в патенте. — Ю. Ци, *сверхпроводящая среда теплопередачи, патент США*, 2005 г.; Дж. Б. Блэкмон, С. Ф. Энтрекин, *Предварительные результаты экспериментального исследования сверхпроводящей тепловой трубы Qu*, 2005.

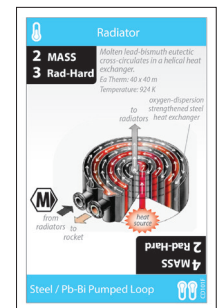
**Радиатор с рефлюксной трубкой с солевым охлаждением (Salt-cooled Reflux Tube Radiator)** — в отличие от тепловой трубы, в которой для возврата рабочей жидкости используется капиллярное действие, рефлюксная трубка использует центробежное ускорение. Эта конструкция более выносливая, чем тепловые трубки, особенно когда она обернута высокотемпературной углерод-углеродной композитной тканью. В отличие от металлов, прочность этих композитов возрастает до температур ~2300 К. Однако они деградируют при воздействии высоких уровней радиации. Рабочей жидкостью являются расплавленные соли фтора, единственный хладагент (кроме инертных газов). — Чарльз В. Форсберг, *Окридская национальная лаборатория, Материалы космической ядерной конференции 2005 г., Сан-Диего, Калифорния, 5–9 июня 2005 г.*



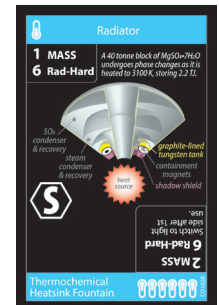
**Радиатор с насосным контуром SS/NaK (SS/NaK Pumped Loop Radiator)** — цикл испарения-конденсации Ренкина может обмениваться теплом с использованием жидкости. металл в качестве теплоносителя, который испаряется при прохождении через теплообменник, соединенный с радиатором. Жидкий металл вблизи перехода жидкость/пар способен излучать тепло при почти постоянной температуре. Обычной средой является натрий или натрий-калий, который имеет температуру насыщения около 1200 К при 1,05 атм. Тепловые трубки представляют собой трубы из оксидированного алюминия или нержавеющей стали, работающие при температуре до 970 К с коэффициентом излучения 0,9. Толщина стенки трубы в полмиллиметра определяется из соображений прокола метеоритом, и каждая труба является независимым элементом, так что одиночный прокол не приводит к общему отказу системы. Молекулярно-лучевые камеры на длинных опорах сканируют метеороидные утечки, которые затыкаются с помощью заклепок, установленных гусеничным ходом. Излучающую температуру 970 К с обеих сторон, этот радиатор имеет удельную площадь 61 кг/м<sup>2</sup>, включая жидкость и теплообменник.



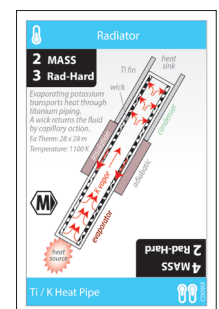
**Насосный петлевой радиатор из стали/Pb-Bi (Steel/Pb-Bi Pumped Loop Radiator)** — рабочей жидкостью этой конструкции является эвтектика свинец-висмут (LBE). Хотя он более агрессивен, чем NaK (особенно выше 970 К), он более стабилен и способен выдерживать большие колебания температуры. Добавление висмута к свинцу снижает температуру плавления и поддерживает постоянную плотность жидкости при ее нагревании за счет усиления коррозии. В качестве дополнительной полезности LBE является отличным гамма-экраном. LBE широко изучался при температурах ниже 870 К, но нержавеющие стали следующего поколения необходимы при температурах выше 925 К, где коррозия значительно ограничивает срок службы. Излучая с обеих сторон, этот радиатор имеет удельную площадь 56 кг/м<sup>2</sup>, включая жидкость LBE, теплообменник и трубки ODS из нержавеющей стали. Конфигурация спирального или винтового теплообменника позволяет создать компактную высокоэффективную конструкцию, благодаря чему достигается максимальный контакт между горячими и холодными поверхностями. Такая геометрия сводит к минимуму засорение, характерное для тепловых трубок, как из-за низкого перепада давления, так и из-за того, что на загрязненной поверхности образуется локальная повышенная скорость, что приводит к «самоочищению» механизма.



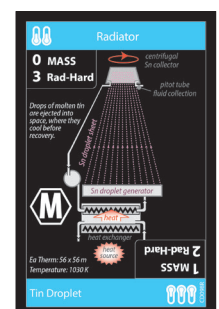
**Радиатор-фонтан с термохимическим радиатором (Thermochemical Heatsink Fountain Radiator)** — в то время как накопление скрытого и явного тепла хорошо зарекомендовало себя, долгосрочное хранение энергии в форме термохимических связей еще не достигло коммерческого развития. Вопросы, включая катализаторы и объемные изменения, все еще требуют решения. Здесь твердый MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O охладит и поглощает тепло до достижения температуры 395 К, после чего вода диссоциирует (поглощая 1,1 МДж/кг), выпаривается и используется повторно. Твердый MgSO<sub>4</sub> может продолжать поглощать тепловую энергию до достижения 1470 К, где он диссоциирует на MgO и газообразный SO<sub>3</sub> (поглощая 18 МДж/кг). Оставшийся оксид магния поглощает тепло в своем вольфрамовом контейнере с графитовым покрытием до достижения температуры 3100 К. Используя эту систему, 40 тонн термохимического материала могут поглощать до 240 МВт в течение 150 минут. — А. Х. Абедин, М. А. Розен, *Критический обзор термохимических систем накопления энергии, 2011; Ф. Барнс, Дж. Левин, Справочник по большим системам хранения энергии, 2011 г.*



**Радиатор с тепловыми Ti/K трубками (Ti/K Heat Pipe Radiator)** — тепловая трубка с циклом испарения-конденсации Ренкина использует пары металла в качестве хладагента, который сжимается при прохождении через теплообменник, соединенный с радиатором. Жидкий металл вблизи перехода жидкость/пар способен излучать тепло при почти постоянной температуре. Трубка изготовлена из титана или суперсплава, армированного SiC, работающего при температуре до 1100 К, рабочая жидкость — калий. Труба покрыта легкой теплопроводной углеродной пеной, которая защищает трубу от космического мусора и передает тепло излучающим ребрам. Суммарная удельная площадь составляет 100 кг/м<sup>2</sup>.



**Оловянно-капельный радиатор (Tin Droplet Radiator)** — распыление увеличивает площадь поверхности, с которой жидкость может терять тепло. Горячее рабочее тело, распыляемое в космос в виде тонких струй субмиллиметровых капель, легко теряет тепло за счет излучения. Охлажденные капли снова улавливаются и возвращаются обратно в теплообменник. Если в качестве рабочей жидкости используется олово, излучаемая мощность сводится к минимуму, что позволяет отводить тепло, сравнимое с игровым значением 120 МВт на терм. Низкий коэффициент излучения жидкого олова (0,043) повышается за счет подмешивания в него сажи, которая распределяется по поверхности капли. Потери на испарение можно избежать, покрыв радиатор пластиковой пленкой толщиной 1 мкм, которая способна пропускать излучение в диапазоне от 2 до 20 мкм (ИК). Такая пленка продолжала бы выполнять свою функцию, даже если бы ее неоднократно прокалывали микрометеориты. На рисунке показана треугольная геометрия капель жидкости. Коллектор, расположенный в точке схождения капельного листа, использует центробежную силу для захвата капель. Диаметр капель 50 мкм, расстояние между ними 250 мкм, коэффициент излучения 0,2 (после добавления углерода). Лист имеет длину 150 м и ширину 62 м на стороне генератора и ширину 2,6 м на стороне коллектора, что дает эффективную излучающую площадь 411 м<sup>2</sup>. Капли выходят при 1030 К и проходят в течение 9 секунд, что приводит к средней эффективной температуре 400 К. Удельная площадь составляет 9,9 кг/м<sup>2</sup>, а удельная масса 0,034 кВт/кг (удвоенное значение, используемое в источниках из-за масштабирования). Низкий коэффициент излучения ограничивает эффективность радиатора в регионах с сильным солнечным потоком.





Copyright © 2020,  
Ion Game Design & Sierra Madre Games  
Part of High Frontier 4 All – Core: SMG28-4  
**EAN:** 653341041166  
*Cover image: Josefine Strand and NASA (<https://images.nasa.gov/>)*