



**Оценка ожидаемых доз радиации при
перелете к Луне с использованием
двигателей малой тяги**

*А.Н.Турундаевский, Н.И.Николаева, А.Д.Панов,
М.В.Подзолко, Д.М.Подорожный,
К.Р.Рахимчанова*

НИИЯФ МГУ

Выполнены оценки доз внутри космического аппарата при полете к Луне с помощью двигателей малой тяги. Учитываются особенности траектории, существенно отличающейся от гомановской. В частности, такая траектория связана с длительным пребыванием внутри радиационных поясов, что может вызвать нарушения в работе бортовой аппаратуры. Представленные результаты могут быть использованы при подготовке будущих космических экспериментов.

Преимущества и недостатки

- Большая полезная нагрузка при полете к Луне
- Существенно меньшие затраты при использовании ядерных источников энергии для ЭРД
- Использование задела по разработке ядерного буксира «Геркулес» [Синявский В.В. КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ, 2013, N3, с.25]
- Большое время полета
- Длительное пребывание в радиационных поясах

Возможная траектория полета. Оценочный расчет по современным источникам.

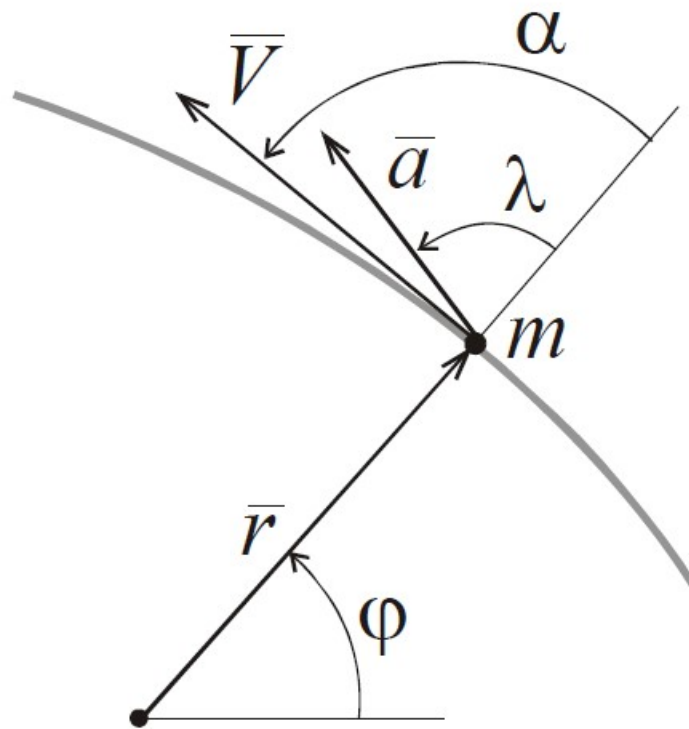


Схема из работы О.Л.Стариновой, 2007.

Основные предположения:

Рабочее тело – ксенон, скорость истечения 45 км/с.

Тяга 6.5 или 13Н

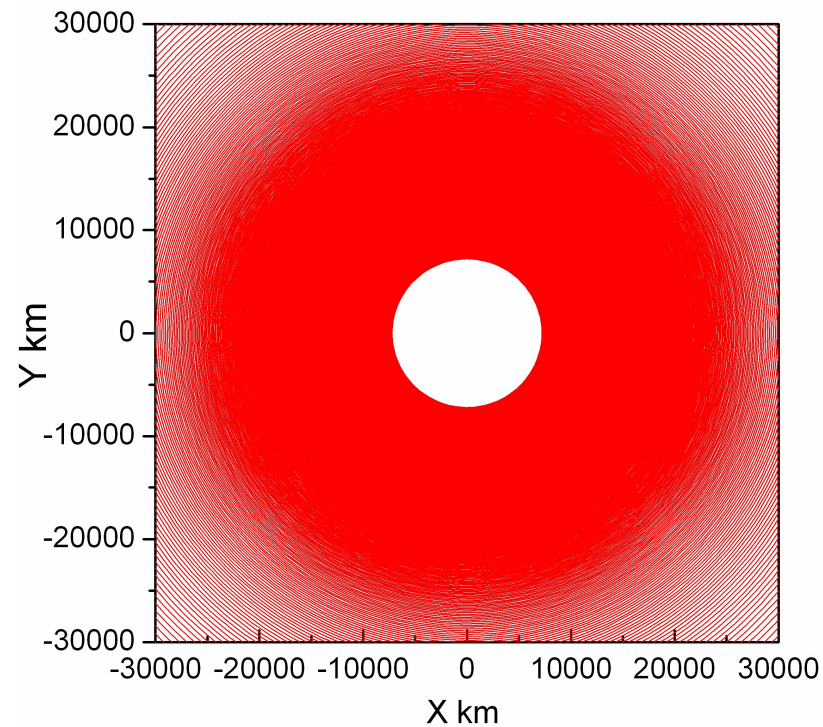
Начальная орбита круговая с высотой 800 км и наклоном 51.6

Начальная масса аппарата 30 т, включая баки с ксеноном.

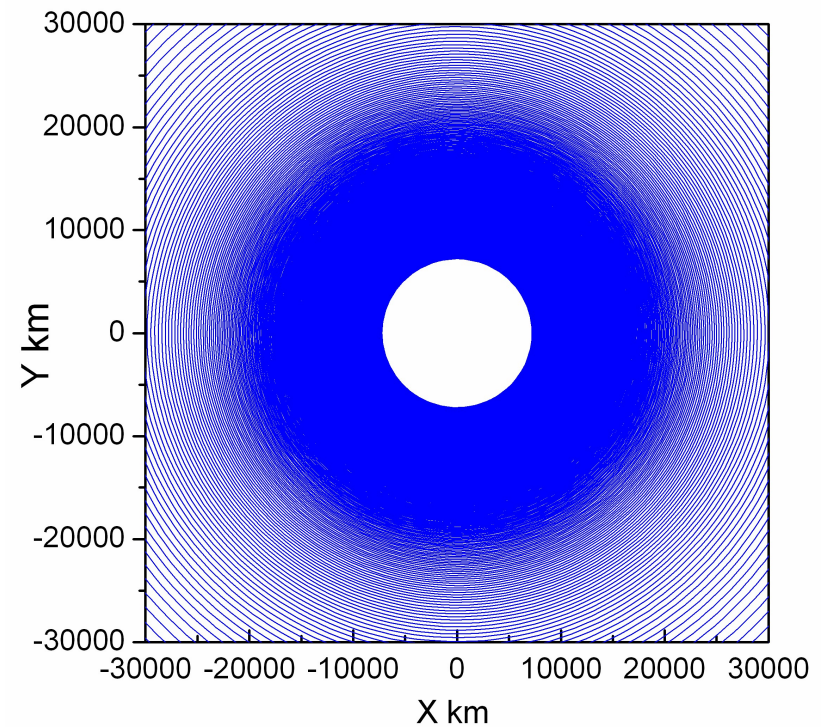
Радиационный фон включает в себя протоны и электроны радиационных поясов, а также потоки ГКЛ и СКЛ. Расчет проводился для минимума и максимума солнечного цикла по программе COSRAD. Чтобы описать спиральную орбиту, наигрывались банки данных для виртуальных круговых орбит, затем проводилась интерполяция

Основная проблема – длительное нахождение внутри радиационных поясов

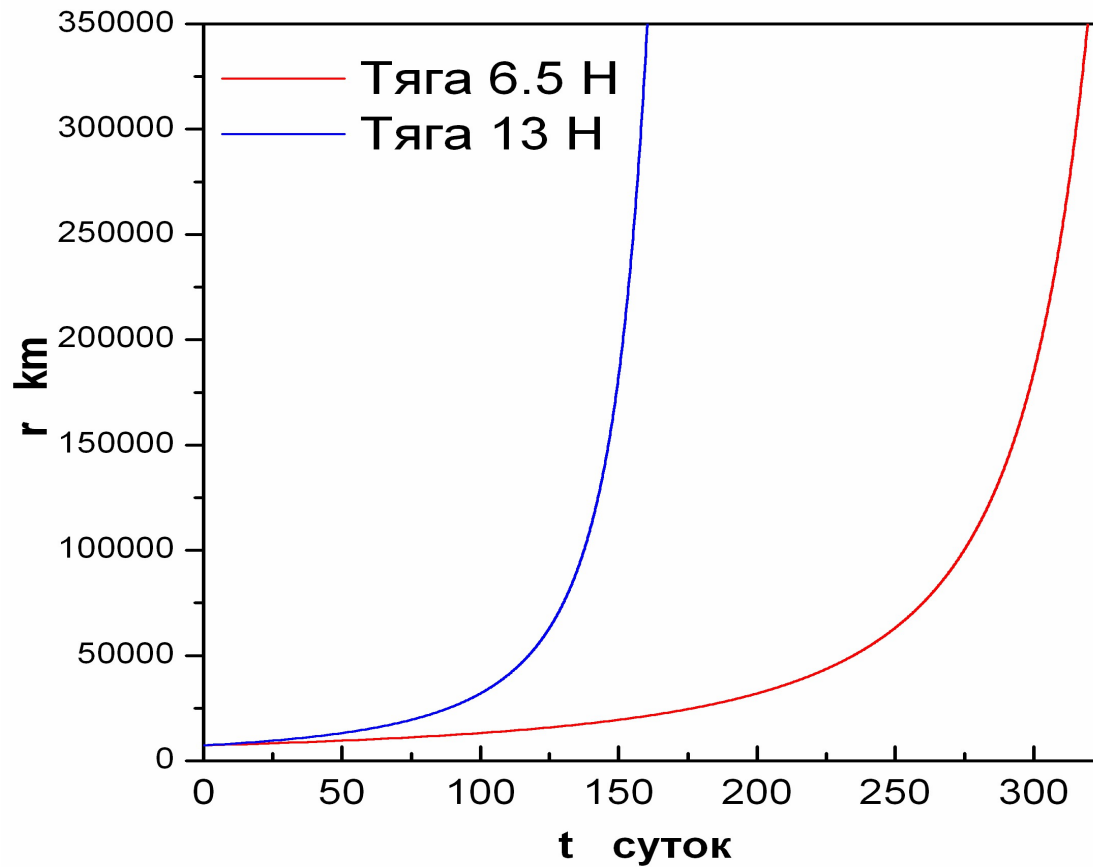
Тяга 6.5 Н



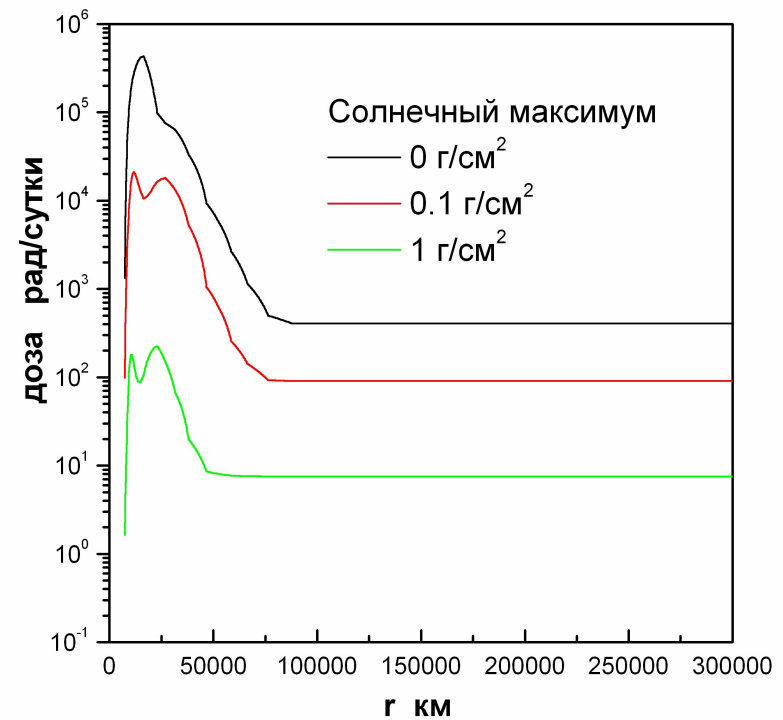
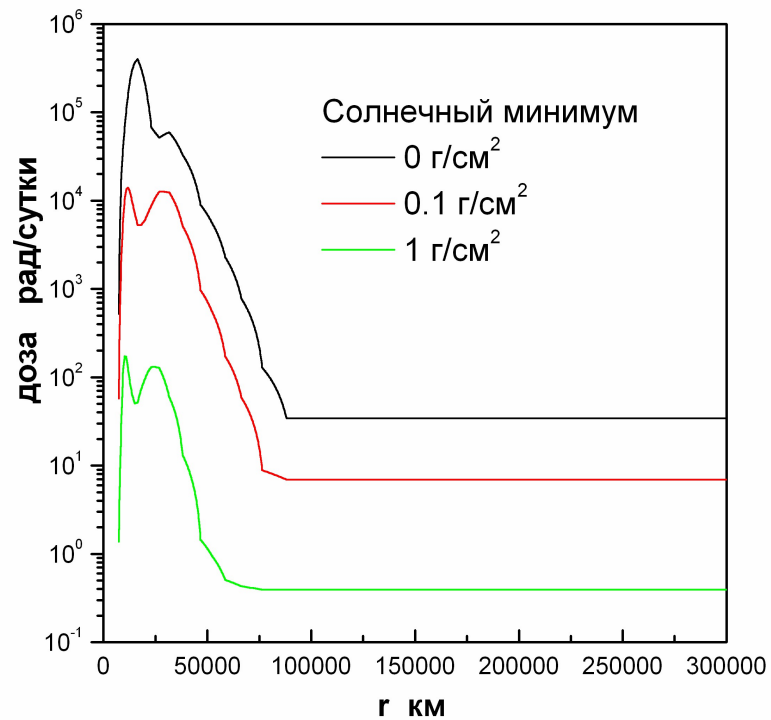
Тяга 13 Н



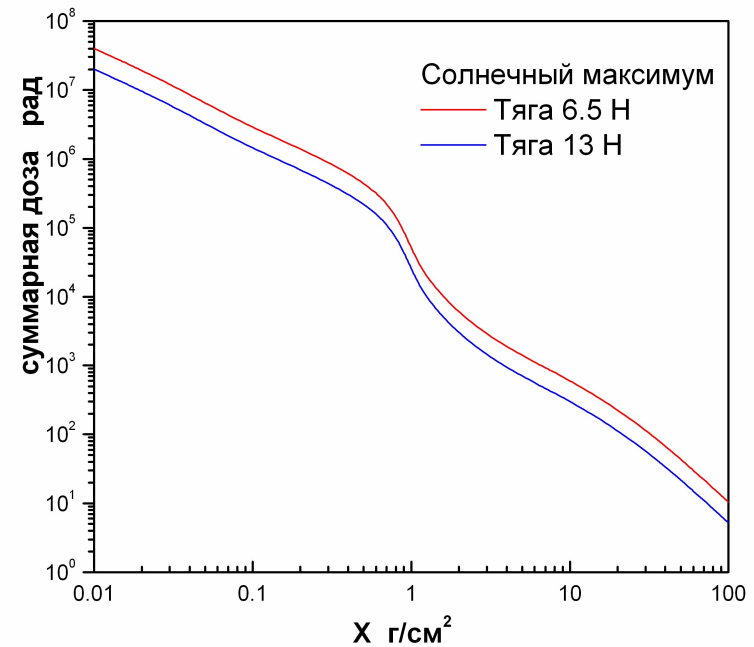
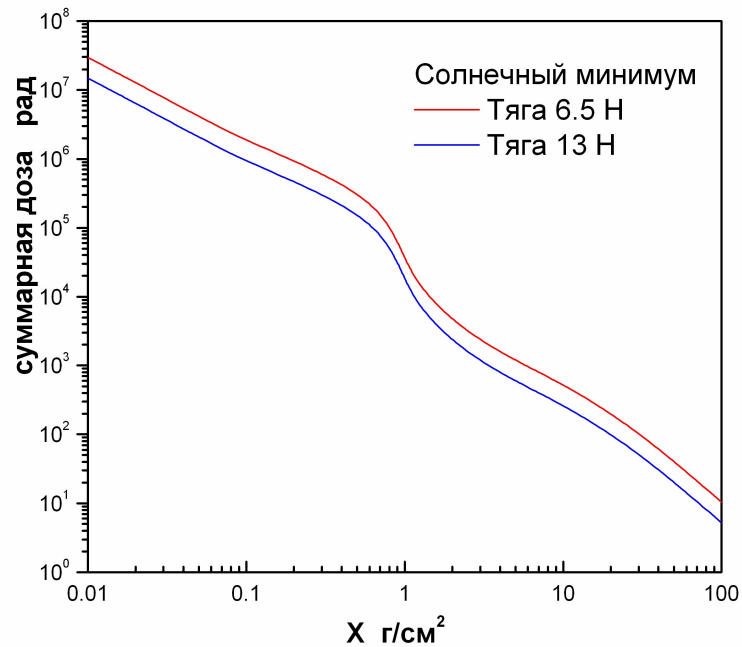
Зависимость радиуса орбиты от времени полета



Зависимость доз, получаемых в сутки, от радиуса орбиты



Зависимость суммарных доз за всё время полёта от толщины защиты



- Суммарная доза за весь полёт может достигать $\sim 4 \cdot 10^7$ рад или ~ 400 кГр при нулевой толщине защиты, $\sim 2.6 \cdot 10^6$ рад или ~ 26 кГр при защите 0.1 г/см^2 , $\sim 2.5 \cdot 10^4$ рад или ~ 0.25 кГр при защите 1 г/см^2 . Это может создать сложности, несмотря на существенный выигрыш в массе полезной нагрузки по сравнению с доставкой грузов по гомановской траектории. При одинаковой толщине защиты дозы на 3 порядка выше, чем на орбите МКС за год полета.
- Для определения угрозы электронике требуется дополнительный расчет с учетом характеристик конкретных микросхем и пространственного распределения вещества в КА.
- Спутники, длительное время работавшие в радиационных поясах (например, Van Allen Probes) показывают возможность создания аппаратуры для таких полетов

- Проблемы могут возникнуть при транспортировке продуктов питания на обитаемые станции на поверхности Луны или на окололунной орбите. Облучение продуктов давно применяется для консервирования, но дозы при этом не превышают 10 кГр [Umit Gecgel, J Food Sci Technol (May–June 2013) 50(3):505–513]. При высоких дозах происходит расщепление жирных кислот, ухудшающее вкус продукта. Максимальные допустимые дозы для облучения продуктов составляют от 10 кГр в Голландии и Бельгии до 30 кГр в США, но чувствительность различных продуктов к радиации отличается [А.П.Черняев, В.В.Розанов, М.К.Беклемишев и др. *ИЗВЕСТИЯ РАН. СЕРИЯ ФИЗИЧЕСКАЯ*, 2020, том 84, № 11, с. 1617–1622]
- При этом, как видно из рисунка, даже тонкая защита толщиной 1 г/см² снижает суммарную дозу на три порядка.
- Проведенный расчет показывает необходимость проведения дополнительных исследований различных аспектов доставки грузов к Луне с участием различных специалистов, включая как физиков, так и химиков, и биологов.

Литература

- Синявский В.В. КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ, 2013, N3, с.25
- Старинова О.Л. Расчет межпланетных перелетов космических аппаратов с малой тягой. Самара, СНЦ РАН 2007.
- Umit Gecgel, J Food Sci Technol (May–June 2013) 50(3):505–513
- А.П.Черняев, В.В.Розанов, М.К.Беклемишев и др.
ИЗВЕСТИЯ РАН. СЕРИЯ ФИЗИЧЕСКАЯ, 2020, том 84, № 11, с. 1617–1622