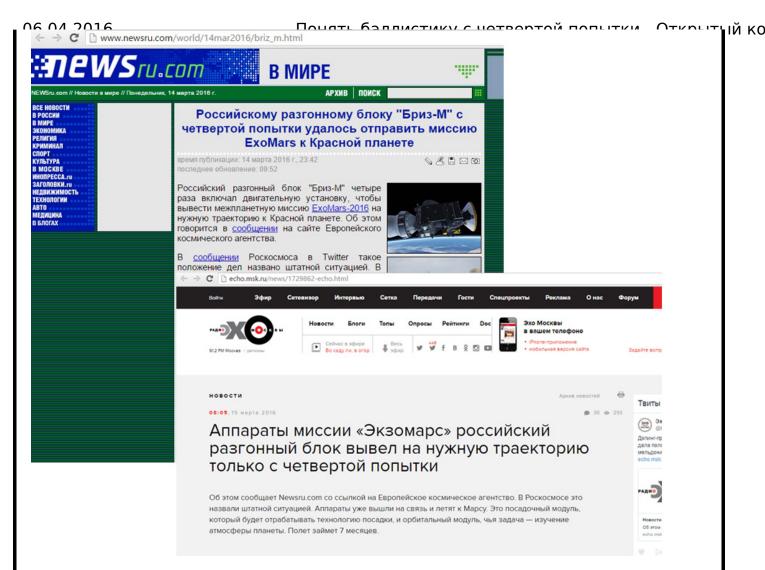
## Предыдущий пост | Следующий пост

## Понять баллистику с четвертой попытки



Тема <u>"ЭкзоМарса"</u> не отпускает. Космический аппарат успешно движется к Марсу, а все российское космическое сообщество смеется над фразой журналистов NewsRu и "Эха Москвы" про разгонный блок "Бриз-М", который сумел "только с четвертой попытки" осуществить запуск аппаратов. Одним предложением авторы одновременно расписались в своей ангажированности и полном непонимании вопроса.

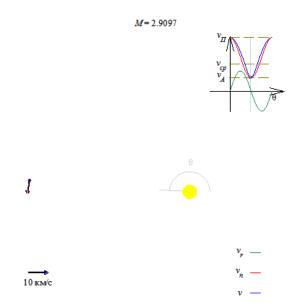


Баллистика космических полетов - это сложнейшая наука, полная математики, как и вся космонавтика. Однако я попытаюсь объяснить на пальцах, как сам понимаю, что же происходило в космосе 14 марта между 12:41, когда состоялся запуск ракеты "Протон-М", и 23:13, когда космический аппарат отделился от разгонного блока "Бриз-М".

Для начала некоторые азы орбитальной механики. <u>Первая космическая скорость</u> - это скорость, которую требуется набрать, чтобы выйти на орбиту вокруг какого-либо космического объекта. Выйти на орбиту - это значит лететь так быстро над его поверхностью чтобы не упасть на нее. Для Земли такая скорость составляет около восьми километров в секунду для низкой околоземной орбиты. Для кометы <u>Чурюмова-Герасименко</u> такая скорость около двух метров в секунду. Как можно догадаться, космическая скорость напрямую зависит от массы и силы притяжения объекта, вокруг которого мы пытаемся крутиться.

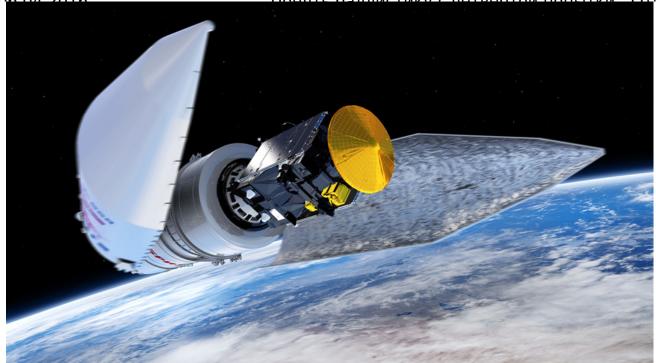
А еще, надеюсь, все знают, что с расстоянием сила притяжения падает. На высоте МКС, кстати, сила притяжения Земли составляет около 95% от той, что действует на нас с вами, и их невесомость родственна той, которая образуется в резко пикирующем самолете или падающем лифте. Собственно, орбитальный полет - это и есть постоянное падение.

Можно догадаться, что раз с расстоянием падает сила притяжения, медленнее будет <u>орбитальная скорость</u> когда мы летим дальше от объекта. Например, если б у Земли не было атмосферы, то для полета на уровне моря нам пришлось бы лететь со скоростью 7,9 км/с. На низкой околоземной орбите, там где не мешает атмосфера, уже хватает 7,81 км/с. А на геостационарной орбите, на высоте 36 тыс км, первая космическая равна 3,1 км/с.



Вторая космическая скорость - это та, которую требуется набрать чтобы покинуть окрестности тела, у которого мы крутились с первой космической. Для того чтобы стартовать с низкой околоземной орбиты Земли нужно разогнаться до 11,2 км/с.

И тут мы возвращаемся к "ЭкзоМарсу". Когда он стартовал на "Протоне", то вышел на суборбитальную траекторию, т.е. его скорость была меньше первой космической. Это норма, "Протон-М" уже 100 раз так делал. Дальше уже работа "Бриза-М".



Если бы у нас был небольшой спутник, и был запас по массе и габаритам, то можно было бы ломануться к Марсу напрямик - врубить форсаж и рвануть сразу до второй космической. Это мог бы сделать другой разгонный блок "ДМ". У него мощнее двигатель, зато топлива улетает больше. "Бриз-М" - это коммерческий разгонный блок, созданный в 90-е годы. Его задача с минимальными затратами вытянуть максимально большой груз. Поэтому "Бриз-М" в два раза меньше "ДМ". Но при этом вытягивает почти в полтора раза больше. И для этого он пользуется хитростями орбитальной баллистики под названием "Эффект Оберта".

Тут все просто...

3.1.2. Внеатмосферная траектория полета. Используем полученные интегралы движения для расчета внеатмосферной траектории полета ГЧ.

С учетом (3.1.8) имеем трансверсальную составляющую скорости

$$V_n = \frac{C}{r}$$
,

далее

$$V_r = \frac{dr}{dt} = \frac{dr}{d\Phi} \frac{d\Phi}{dt} = \frac{dr}{d\Phi} \frac{C}{r^2} = -C \frac{d\left(\frac{1}{r}\right)}{d\Phi},$$
 (3.1.10)

и с учетом соотношения

$$V^2 = V_r^2 + V_r^2$$

найдем

$$V^{2} = C^{2} \left\{ \left( \frac{1}{r} \right)^{2} + \left[ \frac{d(1/r)}{d\Phi} \right]^{2} \right\}.$$
 (3.1.11)

Подставляя (3.1.11) в интеграл энергии (3.1.4), получим

$$C^{2}\left\{\left(\frac{1}{r}\right)^{2}+\left[\frac{d(1/r)}{d\Phi}\right]^{2}\right\}-2\mu\frac{1}{r}=\tilde{h}.$$

Продифференцируем теперь это соотношение по углу Ф:

$$C^{2}\left[\frac{1}{r}\frac{d(1/r)}{d\Phi} + \frac{d(1/r)}{d\Phi}\frac{d^{2}(1/r)}{d\Phi^{2}}\right] - \mu \frac{d(1/r)}{d\Phi} = 0. \tag{3.1.12}$$

Шучу. Сильно упрощая, можно сказать, что эти хитрости знает практически любой, у кого было нормальное дворовое детство. На качелях раскачивались? Помните как делать "солнышко"? Значит поймете как работает "Бриз-М" и зачем ему "четыре попытки". Вспомните, что нужно чтобы до большой скорости раскрутить качели. Чтобы провернуть их одним махом нужно быть штангистом или профессиональным гимнастом. Но "солнышко" доступно любому ловкому и достаточно смелому десятилетнему пацану, только ему потребуется больше времени и больше движений - совсем как "Бризу-М".

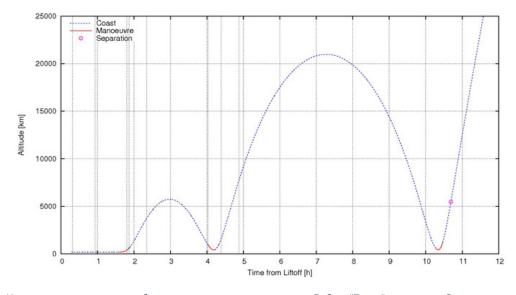
Итак, "ЭкзоМарс" на суборбитальной траектории, производители "Протона" принимают поздравления и пьют чай, а производители "Бриза" переходят на валерьянку. Первое включение двигателей - разгонный блок с космическим аппаратом достигают первой космической скорости и выходят на круговую орбиту.

Второе включение двигателей - круговая орбита превращается в эллиптическую, на одном краю эллипса аппарат все еще пролетает на низкой орбите, а на другом конце эллипса удаляется от планеты и... замедляется. Это первое "движение качелей". Теперь когда нам еще выгоднее поддать скорости? Вспоминаем дворовое детство. Когда качели летят вниз и набирают максимальную скорость.

Точно так же на этапе максимального ускорения, ближе всего к Земле, "Бриз-М" снова поддает газу. Быстро проносится у нас над головами и снова выключает двигатели - экономит топливо.

Но скорость прибавилась, эллипс увеличился, на дальнем его конце еще слабее сила притяжения, а на спуске выше скорость "падения" к Земле.

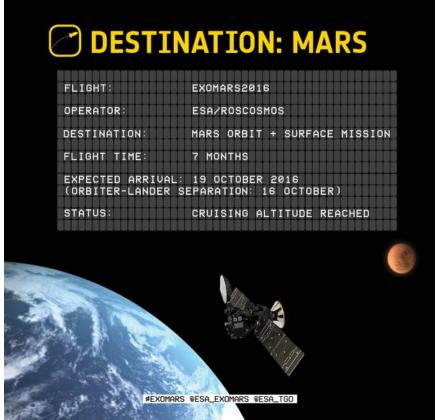
Снова сближение с планетой и четвертое включение двигателей. Вторая космическая преодолена, орбитальные качели набрали такую скорость, что срываются с оси и уносят своего "пилота" к Марсу.



На все эти движения и потребовалось почти одиннадцать часов. Работа "Бриза" выполнена. Он уносится в межпланетное пространство вместе с "ЭкзоМарсом". После отделения аппарата, "Бриз" вроде бы еще раз включал двигатели чтобы гарантированно не врезаться по пути в "ЭкзоМарс" или даже в Марс.

Так Россия справилась со своей миссией на этом этапе, и пополнила "Бризом" группировку рукотворных астероидов, вращающихся вокруг Солнца между Землей и Марсом.





Надеюсь теперь немного понятнее, как летают в космосе, и сколько инженерных и математических находок реализуется в космонавтике. За каждой операцией и каждой гайкой стоят десятки и тысячи человекочасов квалифицированной работы, которая обеспечивает изучение и освоение космоса.

Подробнее о процессе запуска "ЭкзоМарса" можно прочесть в <u>блоге ESA</u>.

О "Бризах" подробно <u>рассказывал  $\Omega$  lozga</u>, и вообще на него рекомендую подписаться всем, кому интересна космонавтика.

## <u>\_\_\_zelenyikot</u>

12 492 377