

САМАРСКАЯ ОБЛАСТНАЯ  
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ШКОЛА

**ЭВОЛЮЦИЯ СИСТЕМЫ «МАРС-ФОБОС».  
ОЦЕНКА ВРЕМЕНИ ЖИЗНИ ФОБОСА**

(научно-исследовательская работа)

**Выполнил:**

Попов Алексей,  
10(а) класс СОФМШ

---

**Научный руководитель:**

Филиппов Юрий Петрович,  
к.ф.-м.н., старший препода-  
ватель кафедры общей и  
теоретической физики  
Самарского государствен-  
ного университета

---

Самара, 2011 г.

# Оглавление

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Введение</b>  | <b>3</b>  |
| <b>1 Марс и его спутники. Приливные силы и их роль в природе</b>                   | <b>7</b>  |
| 1.1 Физическая природа Марса . . . . .   | 7         |
| 1.2 Современные представления о спутниках Марса . . . . .                          | 12        |
| 1.3 Приливные силы и их роль в космических процессах . . . . .                     | 17        |
| 1.4 Определение радиуса сферы Роша для сферического тела . . . . .                 | 20        |
| <b>2 Расчет основных параметров движения Фобоса</b>                                | <b>23</b> |
| 2.1 Расчет основных кинематических параметров Фобоса . . . . .                     | 23        |
| 2.2 Модель эволюции двойной системы . . . . .                                      | 25        |
| 2.2.1 Формулировка модели . . . . .  | 25        |
| 2.2.2 Динамический подход к выводу уравнений эволюции физической системы . . . . . | 26        |
| 2.2.3 Расчет момента силы $M_1$ . . . . .  | 28        |
| 2.3 Редукция и обезразмеривание системы уравнений . . . . .                        | 31        |
| 2.4 Оценка параметра $\delta\varphi$ . . . . .                                     | 34        |
| 2.5 Численные результаты и анализ . . . . .  | 35        |
| <b>Заключение</b>  | <b>38</b> |
| <b>Литература</b>  | <b>40</b> |
| Приложение А. Избранные вопросы небесной механики и теории приливных сил . . . . . | 42        |

# Введение



Рис. 1. Планета Марс.

небесные тела и их движение более подробно [1].

В телескопических исследованиях Марса особое внимание уделялось поиску его спутников. Так еще в дежурном журнале У. Гершеля от 1783 г. значатся попытки их отыскать, но, увы, тщетные. Два года своей жизни посвятил непрерывным наблюдениям околомарсианского пространства немецкий астроном французского происхождения, работавший в Копенгагене, Генрих (Анри) Луи Д'Арре [2]. С 10-дюймовым (25 см) рефрактором в 1862-1864 гг. он досконально исследовал небо рядом с Марсом, но безуспешно... Прибор Д'Арре мог бы "засечь" небесное тело со звездной величиной  $\leq 12^m$ , но не обнаружил его. Если такое тело существует, оно должно или находиться очень уж близко к поверхности планеты, или же, наоборот, быть на расстоянии более чем в 20 марсианских диаметрах от него.

1877-й год был годом великого противостояния Марса, при котором Марс и Земля очень близко подходят друг к другу. Такими благоприятными условиями не мог не воспользоваться опытный астроном Э. Холл, уже заслуживший себе немалый авторитет как один из лучших наблюдателей и вычислителей в

*Актуальность работы.* **Марс** – это четвертая по удаленности от Солнца планета Солнечной системы. Как небесное тело, Марс был известен людям тысячи лет назад. Свое современное название эта планета получила еще во времена Древнего Рима в честь кровавого бога войны. Причиной тому стал ее красный цвет, который ассоциировался с разрушениями и кровью. Человечество стало проявлять особый интерес к этой планете с появлением на свет первых измерительных приборов, способных помочь человеку рассмотреть

Гарвардской обсерватории и профессор математики в Морской обсерватории (Вашингтон). Он приступил к делу весьма систематически, но долгое время не имел успеха.

10 августа 1877 г. Э. Холл с использованием недавно построенного 26-дюймового (65 см) рефрактора Морской обсерватории начал систематические исследования ближайших окрестностей Марса. В ночь на 11 августа Холлу улыбнулась удача: он открыл внешний спутник Марса, в последствии получивший название Деймос. А 17 августа того же года он обнаружил внутренний, больший спутник Марса — Фобос<sup>1</sup>.

Узнав об открытии спутников из газет, одна английская школьница предложила Холлу названия для новых небесных тел. Поскольку богу войны в античных мифах вечно сопутствуют его детища — Страх (Фобос) и Ужас (Деймос), то является разумным называть эти спутники именами детищ. Названия оказались удачными и закрепились навсегда.



Рис. 2. Спутник Марса – Фобос.

Виновником очередного марсианского бума оказался Фобос. В 1945 году американский астроном Б. Шарплесс обнаружил вековое ускорение в движении Фобоса по орбите [2]. Иначе говоря, ученый установил, что Фобос движется по очень пологой спирали, постепенно приближаясь к поверхности Марса, и в течение ближайших 15 миллионов лет он должен упасть на Марс. Почему так происходит? Пытаясь ответить на этот вопрос, известный советский астрофизик И. С. Шкловский в 1959 году попытался рассчитать, при каких

условиях торможение в самых верхних слоях атмосферы Марса, на высоте 6000 км, может привести к подобным результатам. Итог получился неожиданным: оказалось, что подобное поведение Фобоса возможно лишь в том случае, если он полый, пустой внутри, подобно искусственным спутникам Земли!

<sup>1</sup>Важно отметить, что еще за 150 лет до открытия спутников Э. Холлом существование последних было предсказано Дж. Свифтом в своей книге "Путешествия Гулливера". Самое поразительное в том, что здесь было предсказано не только точное количество спутников, но и даны весьма точные прогнозы на расстояния от центра планеты до спутников и на периоды их обращения вокруг Марса. Так, период обращения одного из спутников Марса Свифт угадал с точностью до одной четверти, а другого — до 40 процентов. И в настоящее время между специалистами по истории астрономии идут оживленные споры по вопросу "открытия" Свифта.

Значит, Фобос – тоже искусственное небесное тело?! Но вскоре другой советский ученый, Н.Н. Парийский, выдвинул иное объяснение векового ускорения Фобоса. Согласно его мнению, подобное движение может быть вызвано приливным торможением. Фобос хоть и невелик по размерам, но настолько близок к Марсу, что его перемещение вызывает довольно сильные приливы марсианской коры, подобно тому как на Земле существуют лунные приливы. И приливной горб, по инерции отстающий от движения Фобоса на четверть круга, притормаживает своим тяготением спутник Марса. Сегодня гипотеза Парийского является общепринятой.

Согласно современным оценкам специалистов радиус орбиты Фобоса непрерывно уменьшается примерно на 1.8 метров в столетие. Через 20-50 миллионов лет он либо упадет на поверхность Марса, либо (что более вероятно) разрушится, образовав вокруг Марса кольцо, подобное кольцу пылевых частиц и осколков Сатурна [2, 3]. Есть другие оценки времени жизни Фобоса. Они заключены в пределах от 10.4 до 100 млн. лет [4].

Очевидно, что приведенные выше оценки времени существования Фобоса заключены в широком интервале возможных значений, величина которого определяется девятью десятками миллионов лет. Такая неопределенность в дате смерти спутника является серьезным недостатком в составлении подобных прогнозов.

В связи со сказанным, главной целью настоящей работы является построение простейшей модели эволюции движения системы «Марс-Фобос» с учетом приливных сил и оценка времени жизни Фобоса.

Согласно сформулированной цели, основными задачами работы являются следующие положения:

1. Расчет основных кинематических параметров Фобоса с использованием основных законов механики.
2. Построение модели эволюции системы двух гравитирующих тел (однородный шар-материальная точка). Вывод основных уравнений эволюции системы с использованием динамического подхода. Редукция и обезразмеривание полученной системы.
3. Расчет момента приливной силы, действующей на слабо сплюснутый однородный эллипсоид вращения.
4. Численный анализ полученных зависимостей и расчет времени жизни Фобоса.

Основными методами решения поставленных задач являются основные методы классической механики и интегро-дифференциального исчисления.

Данная работа имеет следующую структуру.

**Первая глава** посвящена современным представлениям о Марсе и его спутниках. Отдельное внимание уделяется приливным силам.

Во **второй главе** подробно представлены решения поставленных теоретических задач и их анализ.

Резюме по проделанной работе представлено в **заключении**. Финальная часть работы содержит список использованных источников и приложения.

# Глава 1

## Марс и его спутники. Приливные силы и их роль в природе

В настоящей главе будут подробно изложены современные представления о Марсе и его двух спутниках. Отдельное внимание будет уделено приливным силам.

### 1.1 Физическая природа Марса



Рис. 3. Марс.

*Марс* – четвертая по удаленности от Солнца и седьмая по размерам планета Солнечной системы. Иногда Марс называют "Красной планетой" из-за красноватого оттенка поверхности, придаваемого ей оксидом железа [1].

Марс относится к планетам земной группы с разреженной атмосферой. Особенности поверхности Марса можно считать ударные кратеры, наподобие лунных, и вулканы, долины, пустыни и полярные ледниковые шапки, наподобие земных.

*Видимость планеты.* Земной наблюдатель может видеть Марс невооруженным глазом. Его видимая звездная величина достигает  $-2.9^m$  (при максимальном сближении с Землей – в момент противостояния), уступая по яркости лишь Венере, Луне и Солнцу, хотя большую часть времени Юпитер для земного наблюдателя является более ярким, чем Марс. В момент максимального удаления Марса от Земли (в момент верхнего соединения), его