

## ДВИЖЕНИЕ АПОФИСА ЗА 1000 ЛЕТ И ВОЗМОЖНОЕ ЕГО ИЗМЕНЕНИЕ Смольский И.И., Смольский Я.И.<sup>1</sup>

НИУ Институт криосферы Земли СО РАН  
625000, Тюмень, а/я 1230 ИКЗ СО РАН  
Телефон:(3452) 688714, E-mail: [jmulsky@mail.ru](mailto:jmulsky@mail.ru)  
<sup>1</sup>Институт теплофизики СО РАН, Новосибирск  
630090, Новосибирск, пр. Науки, 1  
тел. (383)3165335, E-mail: [smul@ngs.ru](mailto:smul@ngs.ru)

Известно (см. например [1]), что астероид Апофис 13 апреля 2029 г. пройдет у Земли на расстоянии, которое может варьироваться в диапазоне от 5.62 до 6.3 ее радиуса, и из-за существенного изменения орбиты дальнейшее предсказание его движения становится невозможным. Однако существует некоторая вероятность столкновения его с Землей в 2036 г.

Мы проанализировали литературные источники [1-7] и установили, что неопределенности в траектории Апофиса обусловлены несовершенством методов ее определения. Новым численным методом [8] мы проинтегрировали дифференциальные уравнения движения Апофиса, планет, Луны и Солнца и исследовали его эволюцию орбиты. Апофис 13 апреля 2029 г. пройдет на расстоянии  $R_{min} = 38907$  км от центра Земли и в течение 1000 лет более близкого его прохождения не будет.

Были определены минимальные сближения  $R_{min}$  астероида с планетами и Луной на заданном интервале  $\Delta T$ . Исследования были выполнены на трех интервалах времени:  $0 \div 100$  лет (рис. 1, а),  $0 \div -100$  лет (рис. 1, б) и  $0 \div 1000$  лет (рис. 1, в).

На графиках рис. 1 точками, соединенными ломаной линией, представлены минимальные расстояния  $R_{min}$  сближения астероида с телами, которые отмечены точками, объединенные горизонтальной линией. То есть, точка на ломаной линии означает минимальное расстояние, на котором за время  $\Delta T = 1$  год астероид прошел у тела, которое отмечено точкой на горизонтальной линии в тот же момент времени. Из рис. 1, а видно, что с 30.0 ноября 2008 г. в течение 100 лет будет только одно значительное сближение Апофиса с Землей (т. А) в момент  $T_A = 0.203693547133403$  столетия (13 апреля 2029 г. в 21 час 45'47" времени по Гринвичу) на расстоянии  $R_{minA} = 38906.9$  км. Следующее сближение (т. В) будет также с Землей, но в момент  $T_B = 0.583679164042455$  столетия (13 апреля 2067 г.) на расстоянии  $R_{minB} = 622231$  км, которое в 16 раз больше расстояния при первом сближении. Из других тел наиболее близкое сближение будет только с Луной (т. D) (см. рис 1, б) в момент  $T_D = -0.106280550824626$  столетия на расстоянии  $R_{minD} = 3545163$  км.

На рассмотренных графиках рис. 1, а и рис. 1, б представлены минимальные сближения астероида с телами на отрезках  $\Delta T = 1$  год. При интегрировании дифференциальные уравнения движения на интер-

вале времени 1000 лет (см. рис. 1, в) рассматривались минимальные сближения астероида с телами на отрезке времени  $\Delta T = 10$  лет. На этих отрезках времени сближений с Меркурием и Марсом нет, т.е. на 10-и летних интервалах  $\Delta T$  астероид к другим телам подходит ближе. Также как и на рис. 1, а имеется сближение в момент  $T_A$  с Землей. Второе по величине сближение также происходит с Землей в т. Е в момент  $T_E = 5.778503$  столетий (10 октября 2586 г.) на расстоянии  $R_{minE} = 74002.9$  км, т.е. на расстоянии от Земли почти в два раза большем, чем в момент  $T_A$ .

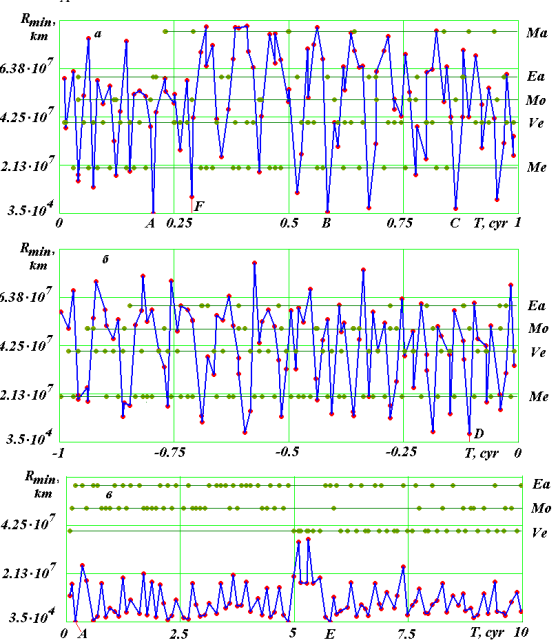


Рис. 1. Сближение Апофиса за время  $\Delta T$  на минимальное расстояние  $R_{min}$  в км с небесными телами: Марс (Ma), Земля (Ea), Луна (Mo), Венера (Ve) и Меркурий (Me); а, б –  $\Delta T = 1$  год; в –  $\Delta T = 10$  лет.  $T$ , суг – время в юлианских столетиях от эпохи  $JD_0 = 2454800.5$  (30.0 ноября 2008 г.).

Итак, 13 апреля 2029 г. Апофис пройдет на расстоянии 38907 км от центра Земли и в ближайшую тысячу лет таких приближений к Земле уже не будет. Поэтому благодаря счастливому случаю, возникающая возможность превратить астероид Апофис в спутник Земли, а затем в обитаемую станцию, представляет значительный интерес. Возможны и другие применения такого спутника. Он может служить ос-

новой для космического лифта. Может использоваться в качестве “челнока” по доставке грузов на Луну. В этом случае спутник должен иметь вытянутую орбиту с радиусом перигея близким к радиусу геостационарной орбиты, а радиусом апогея, приближающимся к радиусу перигея Лунной орбиты. Тогда грузы с геостационарной орбиты в перигее переключались бы на Апофис-спутник, а затем в апогее эти грузы могли доставляться на Луну. Последние два применения возможны, если движение спутника совпадает по направлению с вращением Земли и обращением Луны.

На рис. 2, а показана траектория Апофиса относительно Земли за два года. По траектории 1, начиная от точки  $Ap_0$ , Апофис движется до точки  $Ap_1$ , в точке  $Ap_e$  он сближается с Землей, а заканчивается его траектория в т.  $Ap_f$ . Петли на траектории Апофиса представляют его возвратные движения относительно Земли. Излом траектории Апофиса в точке  $Ap_e$  на рис. 2, б показан в крупном масштабе. В начале координат (т. 2) находится Земля. Солнце расположено в верхнем правом квадранте. Скорость астероида относительно Земли в точке  $Ap_e$  равна  $v_{AE} = 7.39$  км/с. Скорость спутника Земли на круговой орбите на расстоянии  $R_{min}$  равна  $v_{cE} = 3.2$  км/с. Чтобы превратить астероид в спутник необходимо его скорость  $v_{AE}$  приблизить к  $v_{cE}$ . При уменьшении скорости Апофиса в точке  $Ap_e$  он превращается в спутник Земли, однако обращение спутника происходит против вращения Земли.

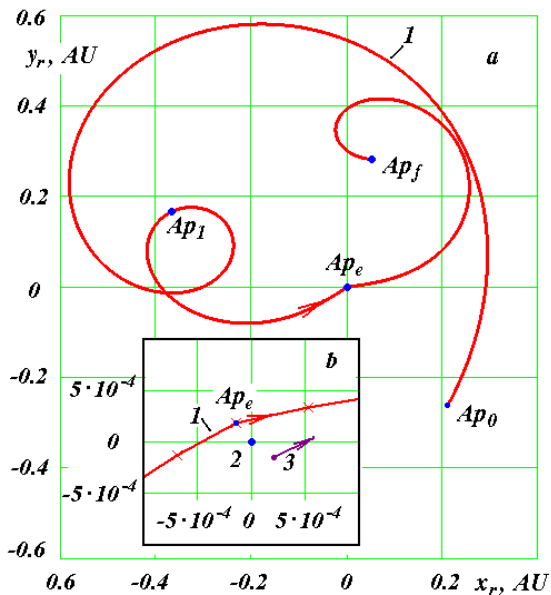


Рис. 2. Траектория Апофиса (1) в геоцентрической экваториальной системе координат  $x_r, y_r$ ;  $Ap_0$  и  $Ap_f$  – начальная и конечная точки траектории Апофиса;  $Ap_e$  – точка сближения Апофиса с Землей; а – в обычном масштабе, б – в увеличенном масштабе на момент сближения Апофиса с Землей (2); 3 – положение Апофиса в момент сближения его с Землей после коррекции его траектории с коэффициентом уменьшения скорости  $k = 0.9992$ ; координаты  $x_r$  и  $y_r$  дана в а.е.

Если Апофис (см. рис. 2, б) будет огибать Землю не с дневной стороны, как показано линией 1, а с

ночной (см. т. 3), тогда при уменьшении его скорости он превратится в спутник, который будет обращаться в необходимом направлении. С этой целью были проинтегрированы уравнения при вариации скорости астероида в т.  $Ap_1$ . В этих численных экспериментах компоненты скорости пропорционально изменялись в одинаковое число раз, т.е. они умножались на коэффициент  $k$ . В результате было установлено, что при уменьшении скорости астероид начинает ближе подходить к Земле и при множителе  $k = 0.9999564$  Апофис сталкивается с Землей. При дальнейшем уменьшении скорости астероида он сближается с Землей на противоположной от Солнца стороне и при  $k = 0.9992$  астероид проходит (см. т. 3 на рис. 2, б) практически том же расстоянии  $R_{min}$ .

В этом случае скорость Астероида относительно Земли также  $v_{AE} = 7.39$  км/с. При уменьшении её в 1.9 раза Апофис превращается в спутник Земли с устойчивой орбитой и с периодом обращения 2.436 дня.

Итак, для превращения Апофиса в спутник с необходимым направлением его обращения нужно за 0.443 года до сближения Апофиса с Землей уменьшить его скорость на 0.0024 км/с, а при сближении с Землей необходимо уменьшить её на 3.5 км/с.

Уменьшение скорости тела массой 30 млн. тон на 3.5 км/с в настоящее время представляет серьёзную научно-техническую проблему. Но впереди 20 лет, и опыт создания первого искусственного спутника Земли свидетельствует, что при постановке обществом такой цели, она будет успешно реализована.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Georgini J.D., Benner L.A.M., Ostro S.I., Nolan H.C., Busch M.W. Predicting the Earth encounters of (99942) Apophis // Icarus. 2008 v.193, pp. 1-19.
- Рыхлова Л.В., Шустов Б.М., Поль В.Г., Суханов К.Г. Насущные проблемы астероидной опасности // Околоземная астрономия 2007// Материалы международной конференции 3-7 сентября 2007 г. п. Терскол. Международный центр астрономических и медико-экологических исследований Национальной академии наук Украины и Институт астрономии РАН. г. Нальчик, 2008 г., с. 25-33.
- Емельянов В.А., Меркушев Ю.К., Барабанов С.И. Периодичность сеансов наблюдения астероида Апофис космическими и наземными телескопами // Там же, с. 38 -43.
- Соколов Л.Л., Башаков А.А., Питьев Н.П. О возможных сближениях АСЗ 99942 Апофис с Землей // Там же, с. 33 – 38.
- Быкова Л.Е. Галушина Т.Ю. Эволюция вероятной области движения астероида 99942 Апофис // Там же, с. 48 – 54.
- Смирнов Е.А. Современные численные методы интегрирования уравнений движения астероидов, сближающихся с Землей // Там же, с. 54-59.
- Ивашкин В.В., Стихно К.А. Анализ проблемы коррекции орбиты астероида Апофис // там же, с. 44 – 48.
- Смольский И.И. Оптимизация пассивной орбиты с помощью гравиманевра // Космические Исследования, 2008, том 46, № 5, с. 484-492.

<http://www.ikz.ru/~smulski/Papers/KOS0484.pdf>.