Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

А. Ф. Заусаев, Ф. Х. Алтынбаев, Исследование динамики астероидов группы атона вблизи резонансов с внутренними планетами, *Вестн. Сам. гос. техн. ун-та. Сер. Физ.-мат. науки*, 2007, выпуск 2(), 195–197

DOI: <https://doi.org/10.14498/vsgtu560>

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением

<http://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 54.92.164.108

26 апреля 2023 г., 16:54:17

Небесная механика

УДК 523.44

А. Ф. Заусаев, Ф. Х. Алтынбаев

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ АСТЕРОИДОВ ГРУППЫ АТОНА ВБЛИЗИ РЕЗОНАНСОВ С ВНУТРЕННИМИ ПЛАНЕТАМИ

На интервале времени с 1800 по 2200 гг. исследована динамика астероидов группы Атона вблизи резонансов с внутренними планетами. Показано, что из 320 астероидов группы Атона 238 движутся вблизи резонансов с одной, двумя или тремя внутренними планетами.

Введение. При исследовании проблемы астероидной опасности особый интерес представляют астероиды групп Аполлона, Амура, Атона, так как их орбиты могут касаться орбиты Земли или проникать внутрь неё и, в случае тесных сближений с Землёй, представлять опасность столкновения.

Существование кратных соизмеримостей и резонансов у астероидов групп Аполлона, Амура, Атона по отношению к нескольким планетам были выявлены ранее рядом авторов [1, 2]. При этом было установлено, что улучшение соизмеримости с одной из планет приводит к ухудшению соизмеримости с другой планетой. В дальнейшем, для выявления резонансного движения, основное внимание будет уделено астероидам группы Атона. Большие полуоси астероидов этой группы лежат внутри орбиты Земли, поэтому периоды обращения некоторых из них могут находиться в соизмеримости с внутренними планетами.

При изучении движения астероидов особое место занимают группы астероидов, имеющие характер движения, соизмеримый с движением больших планет. Орбиты астероидов таких групп могут близко подходить к орбитам планет, но благодаря соизмеримости их движения с планетой им всегда удаётся избежать слишком тесных сближений, так как планета не оказывается на том участке орбиты, к которому приближается астероид. Поэтому данные астероиды не испытывают сильных возмущений со стороны планеты и сохраняют большие полуоси своих орбит почти неизменными. Следует отметить, что подобные соизмеримости не являются точными, и речь идёт только о том, что астероид движется вблизи соизмеримости.

Анализ эволюции орбит астероидов, движущихся вблизи резонансов, позволяет предполагать, что особый характер их движения является временным явлением и постепенно расстраивается под действием планетных возмущений. Длительность пребывания в резонансной зоне (при прочих равных условиях) зависит от ширины резонансной зоны. Дело в том, что резонансный характер движения может осуществляться не только при точной соизмеримости движения астероида с планетой. Отклонение от точной соизмеримости (в обе стороны), при которой ещё сохраняется резонансный характер движения, как раз и определяет ширину резонансной зоны. Если простые числа, входящие в резонансное соотношение, обозначить через k_1 и k_2 , то ширина резонансной зоны окажется пропорциональной величине $\frac{1}{k_1+k_2}$. Очевидно, что резонансная зона оказывается наиболее широкой при $k_1 = k_2 = 1$ [2].

1. Исследование движения астероидов группы Атона вблизи резонансов с внутренними планетами. В банке исходных данных элементов орбит астероидов *DASTCOM (Database of ASTeroids and COMets)* американской Лаборатории Реактивного Движения (*JPL*) по состоянию на 14 июня 2006 года содержалась информация об орбитах всех известных астероидов. В этом банке нами выявлено 320 астероидов группы Атона. Критерием принадлежности астероида к группе Атона являлась величина большой полуоси, которая по определению должна быть меньше единицы ($a < 1$).

Резонансные соотношения можно строить по различным параметрам движения: как по периоду обращения T , так и по среднесуточному движению n . В данной работе использовались среднесуточные движения.

Для определения резонансного характера движения астероидов с большими планетами воспользуемся известными отношениями для любых двух действительных чисел, которые можно представить в виде следующей подходящей дроби [3]:

$$\frac{b}{c} \approx q_1 + \frac{1}{q_2 + \frac{1}{q_3 + \frac{1}{\dots + \frac{1}{q_n}}}}. \quad (1)$$

Тогда значения $\delta_1 = q_1$, $\delta_2 = q_1 + \frac{1}{q_2}$, $\delta_3 = q_1 + \frac{1}{q_2 + \frac{1}{q_3}}$, ... называются подходящими дробями; b и c — действительные числа; $q_1, q_2, q_3, \dots, q_n$ — неполные частные.

Подставляя в формулу (1) вместо c и b значения среднесуточных движений астероида n_1 и планеты n_2 , получаем целые числа k_1 и k_2 , соответствующие числителям и знаменателям подходящих дробей.

Критерий резонансного характера движения астероида по отношению к отдельно взятой планете можно представить в виде формулы [4]:

$$|k_1 n_1 - k_2 n_2| = O(1)\sqrt{M}, \quad (2)$$

где M — масса планеты. Тогда согласно [4] для выполнения требования, отвечающего резонансам первого порядка, величина $d = |k_1 n_1 - k_2 n_2|$ — отличие резонансного соотношения среднесуточных движений планеты и астероида от точной соизмеримости, не должна превосходить следующих значений: 0,0016 — для Венеры; 0,0017 — для Земли и 0,0006 — для Марса. В дальнейшем, при выполнении вышеуказанных условий, движение астероида по отношению к конкретной планете будем считать резонансным.

Полагая в условии (2) $k_1 \leq 5$ и $k_2 \leq 5$, при выполнении которого для возмущения обеспечивается малый период, для 238 астероидов группы Аполлона нами были получены резонансные последовательности по отношению к Венере, Земле и Марсу, которые сопоставлялись с точной соизмеримостью.

На основе вычисленных среднесуточных движений астероидов и планет Меркурий—Марс были найдены отношения $k_1 : k_2$, удовлетворяющие критерию (2).

Сведения о характере движения астероидов группы Атона вблизи резонансов с внутренними планетами на 14 июня 2006 года приведены в таблице. Здесь для каждой из четырёх планет (Меркурия, Венеры, Земли и Марса) показано количество астероидов n , находящихся вблизи резонансов с планетой в отношении $k_1 : k_2$.

Анализ полученных результатов показал, что на момент 14 июня 2006 года из общего числа астероидов группы Атона вблизи резонансов с внутренними планетами находилось 238 тел. Соизмеримости, близкие к резонансу с Меркурием, проявились у 8 астероидов, с Венерой — у 131 астероида, с Землёй — у 160 астероидов и с Марсом — у 81 астероида. При этом получено, что 39% астероидов находится в соизмеримости, близкой к резонансу, только с одной из перечисленных выше планет, 17% находятся вблизи резонансов по отношению к двум планетам, около 15% движется вблизи резонансов сразу с тремя планетами.

Как видно из таблицы, в соизмеримости, близкой к резонансу с Меркурием в отношении 3 : 1, находится один, а в отношении 4 : 1 — 6 астероидов; с Венерой в отношениях 1 : 1 и 3 : 2 — 25 и 54 астероида соответственно. В соизмеримости, близкой к резонансу с Землёй в отношении 1 : 1, 1 : 2 и 2 : 3, находятся 78, 4 и 18, а с Марсом в отношении 1 : 2, 1 : 3 движется 57 и 12 астероидов соответственно.

Резонансные зоны астероидов группы Атона по отношению к внутренним планетам на 14 июня 2006 года

Меркурий		Венера		Земля		Марс	
$k_1 : k_2$	n	$k_1 : k_2$	n	$k_1 : k_2$	n	$k_1 : k_2$	n
3:1	1	1:1	25	1:1	78	1:2	57
4:1	6	3:2	54	1:2	4	1:3	12
5:2	1	4:3	38	2:3	18	2:5	12
		5:4	14	3:4	26		
				3:5	6		
				4:5	28		

Для исследования устойчивости резонансного характера движения этих астероидов проведён анализ эволюции орбит на интервале 400 лет (1800–2200 гг.). Интегрирование уравнений движения астероидов проведено численным методом Эверхарта с учётом возмущений от 9 больших планет, Луны и Солнца в барицентрической системе координат [5, 6, 7]. Интегрирование велось с переменным шагом. Получен банк данных элементов орбит, координат и скоростей с шагом 100 дней для 320 астероидов группы Атона на интервале 400 лет (1800–2200 гг.).

О точности вычислений говорит тот факт, что координаты и скорости планет, вычисленные нами, согласуются с DE 405 [8] — одной из самых точных численных теорий движения больших планет, Луны и Солнца. Кроме того, при сопоставлении времени и величин сближений для астероидов, наиболее близко прошедших от Земли, с данными Гарвардского университета (<http://www.cfa.harvard.edu/iau/list/Closest.html>), получено вполне удовлетворительное согласие.

Используя полученный банк данных, по формуле (2) были найдены резонансные соотношения для астероидов группы Атона по отношению к внутренним планетам на моменты времени 5 января 1800 года, 14 июня 2006 года и 8 января 2200 года. Сравнение резонансного характера движения на различные даты не выявило существенных изменений как в значениях k_1 и k_2 , так и в величинах d .

На рисунке на момент времени 14 июня 2006 г. показано распределение численности астероидов группы Атона в зависимости от величин больших полуосей. Характер распределения числа астероидов как функции большой полуоси на моменты 5 января 1800 года и 8 января 2200 года не претерпевает существенных изменений.

Число астероидов группы Атона как функция большой полуоси. Данные приведены на 14 июня 2006 года

2. Результаты и выводы. Исследование резонансов важно как для изучения устойчивости движения отдельных систем, так и в целом Солнечной системы. По-видимому, основной причиной высокой степени устойчивости в динамическом состоянии небесных объектов является сложный вид резонансного взаимодействия тел Солнечной системы. Тела, попавшие в определённый тип резонанса, могут оставаться захваченными им значительное время.

Путём сопоставления величин $d = |k_1 n_1 - k_2 n_2|$ на интервале времени (1800–2200 гг.) для различных типов соизмеримостей было выявлено, что наиболее устойчивыми к планетным возмущениям являются резонансы низких порядков — 1 : 1. Резонансы более высоких порядков, как и предполагалось, оказались менее устойчивыми.

Кроме того, стоит подчеркнуть, что кратные резонансы замедляют прогрессивную эволюцию астероидов, уменьшают вероятность столкновения их с большими планетами и, тем самым, продлевают срок их существования.

Однако не все астероиды группы Атона находятся в резонансах с большими планетами. Из рассмотренных 320 астероидов группы Атона у 82 отсутствуют острые соизмеримости периодов с внутренними планетами. Возможно, что эти астероиды будут иметь более высокую степень вероятности столкновения с большими планетами по сравнению с астероидами, находящимися в резонансе с планетами. К этим объектам должно быть проявлено особое внимание при решении проблемы, связанной с астероидной опасностью.

Работа выполнена при финансовой поддержке Федерального агентства по образованию (проект РНП. 2.1.1.1689)

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Алтынбаев, Ф.Х. Исследование устойчивости резонансного характера движения астероидов групп Аполлона, Амура, Атона [Текст] / Ф.Х. Алтынбаев // Вестн. Сам. госуд. техн. ун-та. Сер.: Физ.-мат. науки. — 2004. — С. 71–77. — ISBN 5-7964-0515-2.
- Симоненко, А.Н. Метеориты — осколки астероидов [Текст] / А.Н. Симоненко. — М.: Наука, 1979. — 224 с.
- Виноградов, И.М. Основы теории чисел [Текст] / И.М. Виноградов. — М.: Н, 1965. — 172 с.
- Герасимов, И.А. Эволюция внешней части кольца астероидов [Текст]: Автореф. дис. ... докт. физ. мат. наук / И.А. Герасимов; МГУ ГАИШ. — М., 1992. — 11 с.
- Everhart, E. Implicit single methods for integrating orbits [Text] / E. Everhart // Celestial mechanics. — 1974. — No 10. — P. 35–55.
- Заусаев, А.Ф. Каталог орбитальной эволюции короткопериодических комет с 1900 по 2100 гг. [Текст] / А.Ф. Заусаев, А.А. Заусаев — М.: Машиностроение-1, 2005. — 346 с. — ISBN 5-94275-204-4.
- Заусаев, А.Ф. Применение метода Эверхарта 31 порядка для решения уравнений движения различных небесных объектов [Текст] / А.Ф. Заусаев, А.А. Заусаев, А.Г. Ольхин // Обозрение прикладной и промышленной математики / Материалы Пятого Всерос. симп. по прикладной и промышленной математике. — 2004. — Т. 11, Вып. 3. — С. 636.
- Standish, E.M. JPL Planetary and Lunar Ephemerides, DE 405 / LE 405 [Text] / E.M. Standish // Jet Prop Lab Technical Report. IOM 312. F-048. — 1998. — P. 1–7.