Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

Ф. Х. Алтынбаев, Исследование резонансных движений астероидов группы Амура с внутренними планетами, *Вестн. Сам. гос. техн. ун-та. Сер. Физ.-мат. науки*, 2006, выпуск 43, 195–197

DOI: <https://doi.org/10.14498/vsgtu478>

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: 3.93.64.190

26 апреля 2023 г., 09:03:37

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЗОНАНСНЫХ ДВИЖЕНИЙ АСТЕРОИДОВ ГРУППЫ АМУРА С ВНУТРЕННИМИ ПЛАНЕТАМИ

Исследовано резонансное движение астероидов группы Амура с внутренними планетами. Показано, что из 1465 астероидов группы Амура 1215 движутся в резонансе с одной, двумя или тремя внутренними планетами. На интервале времени с 1800 по 2200 гг. исследована устойчивость резонансного движения астероидов группы Амура по отношению к внутренним планетам.

При решении задач, связанных с астероидной опасностью, особый интерес представляют астероиды групп Аполлона, Амура, Атона, так как орбиты астероидов этих групп касаются и даже проникают внутрь орбиты Земли и в случае тесных сближений с Землей могут представлять определенную угрозу столкновения. Особое место при исследовании занимают группы астероидов, имеющих характер движения, соизмеримый с движением больших планет. Для таких астероидов, благодаря соизмеримости, даже в случаях, когда их орбиты проходят близко к орбитам планет, всегда удается избежать тесных сближений с планетами, так как планета не оказывается на том участке орбиты, к которому приближается астероид.

Существование кратных соизмеримостей и резонансов у астероидов групп Аполлона, Амура, Атона по отношению к нескольким планетам были выявлены ранее рядом авторов [1–4]. В данной работе рассматривается резонансное движение астероидов группы Амура по отношению к большим планетам.

Суть проблемы заключается в том, что резонансный характер движения может наблюдаться не только при точной соизмеримости движения астероида с планетой. Отклонение от точной соизмеримости в любую сторону, при которой еще сохраняется резонансный характер движения, как раз и определяет ширину резонансной зоны. Если обозначить простые числа, входящие в резонансное соотношение, через k_1 и k_2 , то ширина резонансной зоны окажется пропорциональной величине $1/(k_1 + k_2)$. Очевидно, что резонансная зона оказывается наиболее широкой при $k_1 = k_2 = 1$.

В банке исходных данных элементов орбит астероидов *DASTCOM*¹ (*Database of ASTeroids and COMets*) американской Лаборатории реактивного движения (*JPL*) по состоянию на 14 июня 2006 года содержалась информация о 1465 астероидах группы Амура.

На начальный момент времени 14 июня 2006 года из 1465 астероидов группы Амура вблизи резонанса по отношению к одной или нескольким планетам одновременно двигалось 1215 тел. При этом соизмеримости, близкие к резонансным с Венерой, проявлялись у 443 астероидов, с Землей — у 1077 и с Марсом — у 632 астероида. Здесь под понятием близкой соизмеримости понимается удовлетворение критерию резонансного характера движения астероида по отношению к отдельно взятой планете [2]:

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

где n_1 и n_2 — среднесуточные движения астероида и планеты; M — масса планеты; k_1 и k_2 — целые числа, соответствующие точной соизмеримости резонансного соотношения.

Из анализа начальных данных получено: 32% астероидов находится в резонансе только с одной из перечисленных выше планет, 33% находятся в резонансе по отношению к двум планетам и около 17% движется в резонансе сразу с тремя планетами — Венерой, Землей и Марсом.

Сведения о характере резонансных движений астероидов группы Амура к внутренним планетам на 14 июня 2006 года показаны в таблице, из которой видно, что наиболее широкие резонансные зоны с Венерой 2:1 и 3:1 у 15 и 77 астероидов соответственно. Широкие резонансы с Землей 2:1 и 3:1 наблюдаются у 169 и 309 астероидов. С Марсом в широких резонансах 1:1, 2:1 движется 88 и 172 астероида соответственно.

Для изучения устойчивости резонансного характера движения этих астероидов со временем были проведены исследования эволюции их орбит на интервале времени 400 лет — 200 лет в прямом и 200 лет в обратном направлениях от начального момента 14 июня 2006 года. Интегрирование уравнений движения астероидов проводилось численным методом Эверхарта

¹ [ftp://ftp.lowell.edu/pub/elgb/astorb.htm](http://ftp.lowell.edu/pub/elgb/astorb.htm)

с учетом возмущения 9 больших планет, Луны и Солнца в барицентрической системе координат [5–7]. Интегрирование велось с переменным шагом. Таким образом, были найдены резонансные соотношения для астероидов группы Амура 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 изменений в значениях k_1 и k_2 — резонансных соотношений, а отклонение полученных резонансных отношений от точных соизмеримостей было не существенным.

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

Венера		Земля		Марс	
$k_1 : k_2$	Кол-во	$k_1 : k_2$	Кол-во	$k_1 : k_2$	Кол-во
2:1	15	2:1	169	1:1	88
3:1	77	3:1	309	2:1	172
4:1	144	3:2	54	2:3	8
5:1	184	4:1	255	3:1	4
5:2	33	4:3	21	3:2	75
		5:1	92	3:4	12
		5:2	126	3:5	1
		5:3	42	4:3	62
		5:4	8	4:5	19
				5:2	55
				5:3	101
				5:4	35

Стоит отметить, что наличие кратных резонансов значительно снижает степень возмущения со стороны больших планет. Энергия астероида, находящегося в резонансе с планетой испытывает только колебания (иногда значительные), не ведущие к прогрессивному изменению размеров орбиты астероида на протяжении всего времени, пока сохраняется резонанс.

При рассмотрении гистограмм распределения численности астероидов группы Амура как функций больших полуосей на три момента времени: 5 января 1800 г., 14 июня 2006 г. и 8 января 2200 г. (рис. 1–3), было замечено, что характер распределения числа астероидов не претерпевает существенных изменений. Это связано с тем, что резонансные соотношения строятся по среднесуточным движениям планет и астероидов, а, в свою очередь, среднесуточные движения небесного тела являются зависимыми от большой полуоси и рассчитываются по формуле

$$n = \sqrt{\frac{f(1+m)}{a^3}}, \quad (2)$$

где f — квадрат постоянной Гаусса; m — масса тела; a — большая полуось орбиты.

Р и с. 1. Гистограмма распределения численности астероидов группы Амура как функция большой полуоси на 5 января 1800 г.

Р и с. 2. Гистограмма распределения численности астероидов группы Амура как функция большой полуоси на 14 июня 2006 г.

Р и с. 3. Гистограмма распределения численности астероидов группы Амура как функция большой полуоси на 8 января 2200 г.

Благодаря тому, что размеры орбит больших планет практически не изменяются, а по результатам исследования отклонение полученных резонансных отношений от точных соизмеримостей было не существенным на исследуемом промежутке времени, нами была обнаружена устойчивость орбит астероидов, находящихся в резонансе с большими планетами. Из этого

можно сделать вывод, что наличие кратных резонансов замедляет прогрессивную эволюцию астероидов, уменьшает вероятность столкновения их с большими планетами, и тем самым продлевает срок их существования.

Однако не все астероиды рассмотренной группы Амура находятся в резонансах с большими планетами. Из рассмотренных 1465 астероидов группы Амура у 250 отсутствуют острые соизмеримости периодов с внутренними планетами. Возможно, что эти астероиды имеют более высокую степень вероятности столкновения с большими планетами в сравнении с астероидами, находящимися в резонансе с планетами и к этим объектам должно быть проявлено особое внимание при решении проблемы, связанной с астероидной опасностью.

Исследование резонансов важно как для изучения устойчивости движения отдельных систем, так и Солнечной системы в целом. По-видимому, основной причиной высокой степени устойчивости в динамическом состоянии небесных объектов является сложный вид резонансного взаимодействия тел Солнечной системы. Тела, попавшие в резонанс, могут оставаться захваченными резонансом значительное время. Таким образом, резонансы стабилизируют Солнечную систему на большие периоды времени.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Алтынбаев Ф. Х.* Исследование устойчивости резонансного характера движения астероидов групп Аполлона, Амура, Атона // Вестн. Сам. гос. техн. ун-та. Сер.: «Физ.-мат. науки», 2004. — № 26. — С. 71–77.
2. *Герасимов И. А.* Эволюция внешней части кольца астероидов // Автореф. дис. ... докт. физ.-мат. наук. — М., 1992. — 11 с.
3. *Гребенников Е. А., Рябов Ю. А.* Резонансы и малые знаменатели в небесной механике. — М.: Наука, 1971. — 443 с.
4. *Заусаев А. Ф.* Эволюция орбит малых тел Солнечной системы сближающихся с Землёй // Автореф. дис. ... докт. физ.-мат. наук. — М., 1994. — 20 с.
5. *Заусаев А. Ф., Заусаев А. А.* Каталог орбитальной эволюции короткопериодических комет с 1900 по 2100 гг. — М. Машиностроение-1., 2005. — 346 с.
6. *Заусаев А. Ф., Заусаев А. А., Ольхин А. Г.* Применение метода Эверхарта 31 порядка для решения уравнений движения различных небесных объектов // Обозрение прикладной и промышленной математики, 2004. — Т. 11, Вып. 3. — С. 636.
7. *Everhart E.* Implicit single methods for integrating orbits // Celestial Mech., 1974. — No. 10. — P. 35–55.

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

Поступила 19.09.2006 г.