

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ДВИЖЕНИЯ АСТЕРОИДОВ ГРУППЫ ГИЛЬДЫ

В.Н.Львов, Р.И.Смехачева, С.С.Смирнов, С.Д.Цекмейстер
Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН

Изучение астероидов группы Гильды имеет длительную историю и большое разнообразие в подходах к проблеме: аналитический и численный, статистический и астрофизический (см., например: Moons, 1997; Dahlgren and Lagerquist, 1995; Gil-Hutton and Brunini, 2000) и другие. Развитые средства программной системы ЭПОС позволили осуществить еще один подход – феноменологический. При этом выявлены некоторые новые особенности движения упомянутых объектов.

В рамках ПС ЭПОС (авторы - В.Н.Львов, Р.И.Смехачева, С.Д.Цекмейстер), созданной в ГАО РАН и развиваемой в настоящее время как Windows-приложение, разработаны программные средства для решения многих задач, в том числе для моделирования движения объектов Солнечной системы по их орбитам в пространстве. Гелиоцентрические прямоугольные координаты, полученные на основе численного интегрирования уравнений возмущенного движения объекта, в соответствии с алгоритмом, реализующим определенную проекцию, преобразуются в экранные координаты. Картина представляется в таком виде, как если бы она наблюдалась с помощью камеры с фиксированным полем зрения, способной перемещаться по долготе, широте и радиусу-вектору. Для каждого момента получается кадр с изображениями всех заданных объектов. Последовательность кадров, полученных с некоторым шагом по времени, формирует основу компьютерного фильма. Разумеется, можно остановить показ или направить его вспять. Предусмотрена возможность записи любого кадра в файл на диске. Поэтому кроме работы в реальном времени из полученных файлов с помощью других программ можно построить фильм, который затем просмотреть отдельно.

Программа “Орбиты” может работать в двух режимах – режим “орбиты” и режим “роя”. Первый из них иллюстрирует движение одного или многих объектов с показом орбит и координатных осей, линий апсид и узлов, а также фрагментов плоскости эклиптики. Полезным свойством этого режима работы является возможность накопления изображений орбит и линий узлов и апсид, что помогает отслеживать их эволюцию во времени. Второй режим показывает одновременно большое число объектов из одного или нескольких каталогов, каждый из которых соответствует множеству объектов с набором определенных свойств. Сами объекты изображаются в виде точек или кружков предопределенного размера. Здесь можно выделить из роя несколько объектов с целью лучшей иллюстрации их движения. Получить информацию о прочих объектах можно при наведении курсора на объект и нажатии правой клавиши мыши. Именно второй режим работы программы “Орбиты” позволил проиллюстрировать движение астероидов разных групп, а в некоторых случаях и подметить *новые* закономерности. Здесь прежде всего рассмотрим некоторые вопросы, связанные с движением астероидов группы Гильды.

Известно, что в большинстве случаев из-за резонанса по среднему движению с Юпитером объекты “выметаются” из занимаемых ими областей, что приводит к существованию в главном поясе т.н. “люков Кирквуда”. Однако есть резонансы, которые, наоборот, способствуют существованию некоторых устойчивых групп, например, 1:1 и 3:2. Астероиды, находящиеся в резонансе 1:1 по среднему движению с Юпитером, именуется троянцами в честь героев Троянской войны. Они расположены вблизи тригональных лагранжевых точек либрации L_4 (греки) и L_5 (троянцы). Третья

вершина этого равностороннего треугольника, точка L_3 , расположена напротив Юпитера, с другой стороны Солнца. Хотя и греки, и троянцы совершают разной степени регулярности движения вокруг соответствующей либрационной точки, в целом можно сказать, что Юпитер при движении по орбите находится в окружении двух роев астероидов, один из которых опережает его на 60 градусов по долготе, другой на такую же величину отстает. Такая картина очень устойчива во времени.

Иной характер устойчивости демонстрируют астероиды группы Гильды (далее просто гильды). Это астероиды, находящиеся в резонансе 3:2 с Юпитером по среднему движению. Они движутся по орбитам, имеющим большую полуось около 4.0 а.е., а также умеренные величины эксцентриситета (до 0.3) и наклона (до 20°). В отличие от троянцев, эти объекты могут иметь любую разность долгот с Юпитером, избегая, однако, опасных сближений с ним.

В настоящей работе использованы данные каталога ASTORB Э.Боуэлла (<ftp://ftp.lowell.edu/pub/elgb/astorb.html>) по состоянию на 21 сентября 2004 г. содержащего элементы орбит, физические и статистические характеристики для всех известных астероидов общим числом 260102. При задании интервала в среднем движении 440" - 465" выявлено 1020 объектов, хотя и не все из них можно отнести к группе Гильды (см. далее). Численное интегрирование уравнений движения каждого из объектов производилось методом Эверхардта с учетом возмущений от всех больших планет. На основе полученных прямоугольных координат вычислялись их экранные положения, из которых и формировались рисунки, отображающие конфигурации астероидов на текущий момент. При этом были обнаружены следующие особенности движения.

Гильды, двигаясь по своим эллиптическим орбитам, все вместе образуют фигуру в виде треугольника со слегка выпуклыми сторонами и с "обрезанными" вершинами в тригональных точках либрации Юпитера – "треугольник Гильд". Толщина потока астероидов в пределах сторон треугольника составляет около 1 а.е., а в районах вершин на 20–40 % больше. На рисунке 1 показаны положения гильд (черный цвет) на фоне всех известных до орбиты Юпитера астероидов (серый цвет) для момента времени 1 января 2005 года.

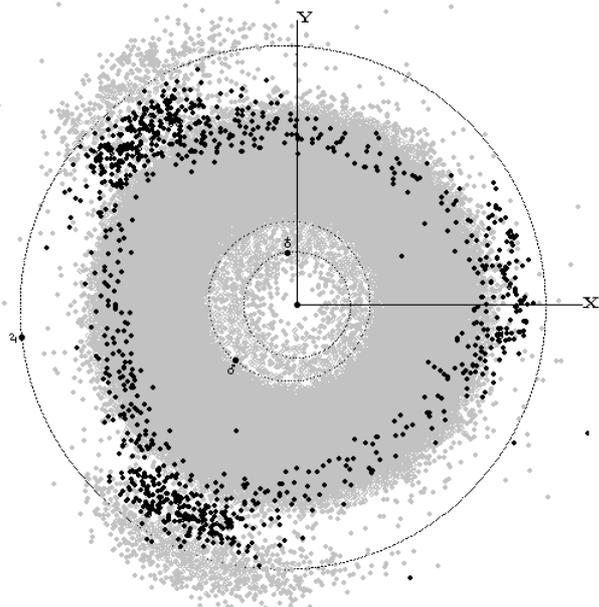


Рис. 1. Треугольник Гильд на фоне всех известных астероидов

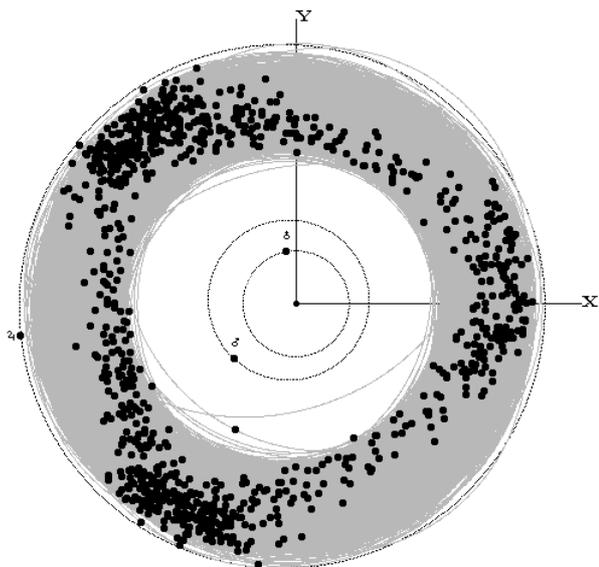


Рис. 2. Положения гильд на фоне их орбит.

Еще раз подчеркнем: астероиды группы Гильды в любой момент образуют конфигурацию в виде упомянутого треугольника, хотя каждый из них движется по

своей эллиптической орбите, а все вместе орбиты образуют вполне ожидаемое кольцо. Это иллюстрирует рисунок 2, на котором для той же даты положения астероидов группы Гильды отмечены черным цветом, а их орбиты – серым. Для большинства астероидов их положение в орбите может быть произвольным, кроме самых внешних частей вершин (объекты вблизи афелия) и середин сторон (объекты вблизи перигелия).

Такую же картину подтверждает численное интегрирование уравнений движения указанных объектов на интервале в 6000 лет (± 3000 лет от Рождества Христова). Получается, что **треугольник Гильд динамически устойчив на достаточно длительных интервалах времени**. На каких – еще предстоит уточнить.

Типичные объекты группы Гильды имеют обратное движение перигелия. Это проявляется в том, что имеет место линейный тренд этой величины с наложенными на него колебаниями разной амплитуды и частоты. В среднем, чем меньше эксцентриситет орбиты, тем меньше период обращения перигелия, и, следовательно, тем больше скорость изменения его долготы. При этом скорость движения линии узлов значительно меньше. Казалось бы, что периодически все типичные объекты должны проходить в афелии близко к Юпитеру, что может грозить им катастрофическими последствиями. Однако от опасной близости с Юпитером их спасает специфическая эволюция элементов орбиты: получается так, что соединения по долготе астероида с Юпитером происходят всегда вблизи перигелия астероида, причем линия, в эти моменты их соединяющая, совершает колебания относительно линии апсид с разной амплитудой и с периодом 2.5–3 столетия. Последнее утверждение давно известно (Schubart, 1982) и подтверждено в настоящей работе. На рис. 3 приведены графики изменения оскулирующих элементов астероида Гильда с типичным поведением величин аргумента перигелия ω , эксцентриситета e , большой полуоси a , и афелийного расстояния Q .

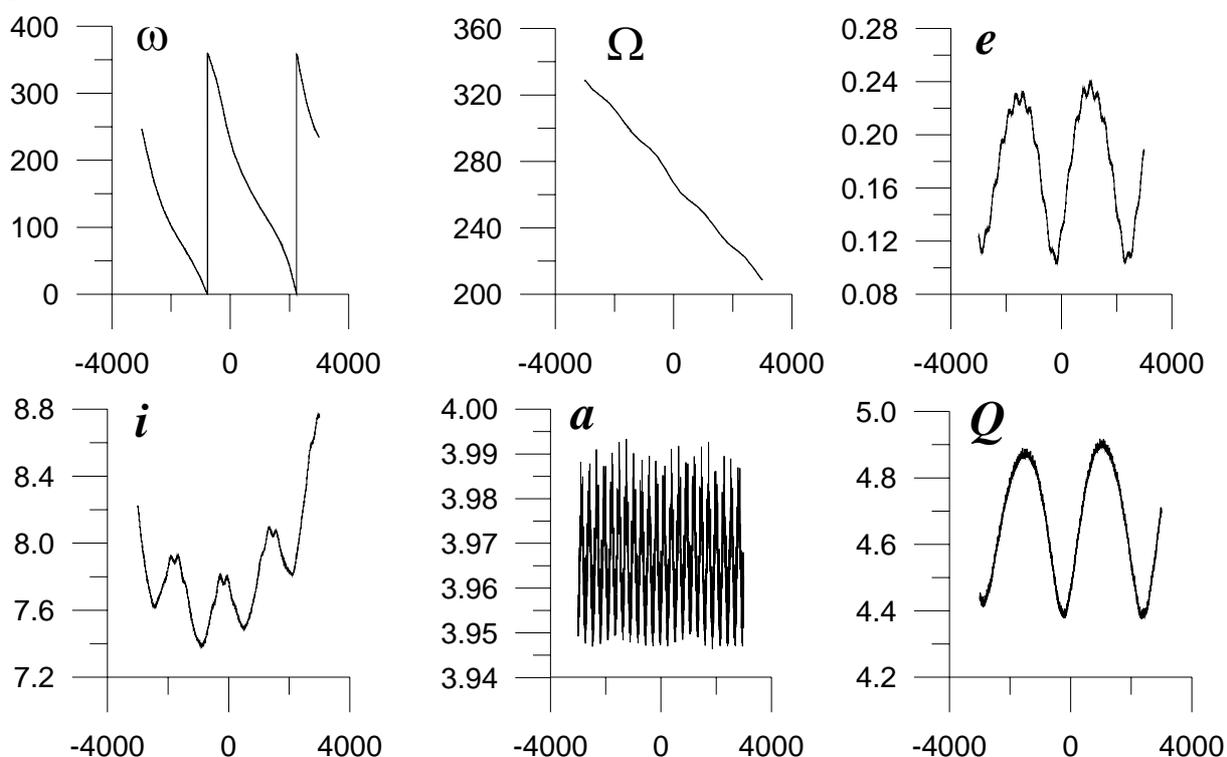


Рис. 3. Графики изменений оскулирующих элементов астероида Гильда.

Часть выбранных астероидов нельзя отнести к группе Гильды, поскольку их орбиты выходят за пределы орбиты Юпитера. Их доля может составить до 25–30 % от

общего числа. Такие объекты проявляют признаки хаотического движения. Многие из них прошли через тесные сближения с Юпитером. При этом их орбиты претерпели очень резкие изменения. Все ли они “выметаются” за пределы орбиты Юпитера или же для некоторых из них уготовано иное будущее? Дать ответ на эти вопросы может только исследование их движения на гораздо более длительном интервале времени.

Помимо того, что треугольник Гильд вращается, будучи связанный с Юпитером, в нем еще замечены и квазипериодические волны плотности потока астероидов, в этом смысле он как бы “дышит”. При этом в любой момент в вершинах треугольника плотность объектов более чем вдвое выше по сравнению с его сторонами. Следует добавить, что в вершинах треугольника гильды проводят в среднем 5.0-5.5 лет, а стороны они проходят быстрее, за 2.5-3.0 года.

Несмотря на то, что треугольник близок к равностороннему, все же в нем существует некоторая асимметрия. Из-за эксцентриситета орбиты Юпитера сторона L_4 – L_5 слегка отличается от двух других сторон. Когда Юпитер находится в афелии, то средняя скорость объектов, проходящих вдоль упомянутой стороны, несколько меньше, чем у объектов, относящихся к двум другим сторонам. Для положения Юпитера в перигелии картина противоположная.

В вершинах треугольника, соответствующих точкам L_4 и L_5 , гильды соседствуют с троянцами, а в пределах сторон треугольника – с астероидами внешней части главного пояса. При этом по сравнению с троянцами в областях пересечения с ними гильды имеют более заметный разброс скоростей. Следует иметь в виду, что разброс троянцев по наклону орбиты вдвое больше, чем у гильд. Из-за этого не менее четверти троянцев не могут пересекаться с гильдами, а значительная часть других находится за пределами орбиты Юпитера. Поэтому упомянутые области пересечения гильд с троянцами не могут быть слишком обширны. Картина иллюстрирует рисунок 4, на котором вместе с Юпитером на переднем плане изображены гильды (черный цвет) и троянцы (серый цвет), видимые из точки, находящейся в плоскости эклиптики и имеющей долготу около 190° на дату 1 января 2005 года. Здесь заметна сферическая форма роев троянцев.

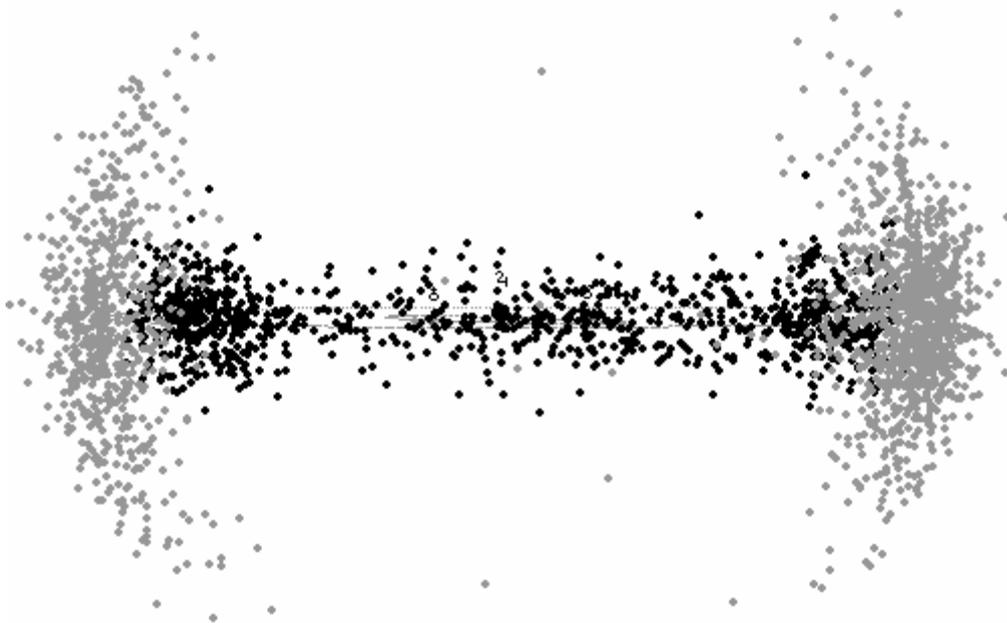


Рис. 4. Вид троянцев и гильд в плоскости эклиптики

При прохождении каждой из сторон гильды испытывают менее длительное, чем с троянками, но более многочисленное соседство с астероидами внешней части главного пояса. Однако здесь разброс скоростей в потоке астероидов значительно меньше.

Выявленные особенности движения астероидов группы Гильды основываются на данных для нескольких сотен известных к настоящему времени объектов и порождают пока больше вопросов, чем ответов. Для расширения списка объектов этой группы требуются новые наблюдения. Здесь следует заметить, что выгоднее всего производить поиск при сближениях Земли с серединами сторон треугольника Гильд, что происходит через каждые $4 \frac{1}{3}$ месяца. При этом выигрыш в блеске для объектов одинакового размера может составить до 2.5 звездной величины.

Таким образом, гильды могут посещать области Солнечной системы, расположенные в кольце шириной не менее 2 а.е. вплоть до орбиты Юпитера, что влечет за собой разнообразие физических условий и соседство с разными группами астероидов. А это может привести к пересмотру некоторых сложившихся представлений об эволюции астероидов этой группы .

Литература

- Dahlgren M. and C.-I. Lagerquist, 1995. A study of Hilda asteroids. I. CCD spectroscopy of Hilda asteroids. *Astron.Astrophys.*, 302, 907–914.
- Gil-Hutton R. and A. Brunini, 2000. Collisional evolution of the outer asteroid belt. *Icarus*, 145, 382–390.
- Moons M., 1997. Review of the dynamics in the Kirkwood gaps. *Celest.Mech.Dyn.Astron.*, 65, 175–204.
- Schubart J., 1982. Three characteristic parameters of orbits of Hilda-type asteroids. *Astron.Astrophys.*, 114, 200–204.