

*Х ВСФПТПМ, 24-30 августа 2011 г.  
Нижний Новгород, Россия.*

**О РАЗВИТИИ РАБОТ ПРОФЕССОРА М.Л. ЛИДОВА  
ПО ЭВОЛЮЦИИ СПУТНИКОВЫХ ОРБИТ  
В ПРИМЕНЕНИИ К ДАЛЕКИМ СПУТНИКАМ  
ПЛАНЕТ-ГИГАНТОВ  
(к 85-летию со дня рождения).**

М.А. Вашковьяк

*Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, Москва*

Настоящий доклад посвящен памяти выдающегося ученого-механика лауреата Ленинской премии, профессора Михаила Львовича Лидова. Его работы по эволюции спутниковых орбит, получили своё развитие в связи с исследованиями орбитальной динамики относительно недавно открытых многочисленных далёких спутников планет-гигантов. В числе других обнаружено заметное количество так называемых апсидально-либрационных орбит, находящихся в условиях резонанса Лидова - Козаи. Для анализа эволюции спутниковых орбит под действием гравитационных возмущений внешних тел М.Л. Лидовым была детально изучена модель двукратно осредненной задачи Хилла. В наших работах выполнено её уточнение путем построения решений третьего и четвертого порядков относительно малого параметра - отношения средних движений планеты и спутника. Построенные решения дали возможность более точно и на большем временном интервале аналитически описать эволюцию спутниковых орбит с большими апоцентрическими расстояниями, сравнимыми с радиусом сферы Хилла планеты относительно Солнца.

Начиная с 1997 года, с помощью наземных наблюдений были открыты более ста внешних спутников планет-гигантов. Для выявления основных особенностей эволюции необычных орбит этих спутников оказалось возможным использовать известную модель ограниченной круговой задачи трех тел (Солнце – планета - спутник). В первом (главном) приближении долгопериодическая эволюция спутниковой орбиты определяется возмущающей функцией задачи, осредненной независимым образом по наиболее быстрым переменным – средним долготам спутника и возмущающего тела (Солнца). Исследование двукратно осредненной задачи в приближении Хилла, выполненное М.Л. Лидовым в 1961 г.[1], позволило свести проблему к изучению поведения фазовых траекторий в плоскости (аргумент перицентра - эксцентриситет) в зависимости от параметров задачи (констант первых интегралов). Стационарная особая точка в этой плоскости и либрационное изменение аргумента перицентра в специальной небесно-механической литературе получило название “резонанс Козаи” по имени японского

ученого Y. Kozai, исследовавшего астероидный вариант задачи, но годом позже [2]. Поскольку в астероидном случае качественные особенности, выявленные М.Л.Лидовым, полностью сохраняются, было бы справедливым, как предложил профессор А.И. Нейштадт, использовать название “резонанс Лидова-Козаи”. В последнее время этот термин уже нередко можно встретить в статьях, связанных с исследованием эволюции орбит внешних спутников планет-гигантов. Как оказалось, в спутниковых системах либрационным характером изменения аргументов перицентров обладают орбиты целого ряда внешних спутников, хотя подобное свойство является достаточно редким даже для многотысячного ансамбля астероидных орбит. Анализом двукратно осредненной задачи Хилла выявлены апсидально-либрационные орбиты внешних спутников J46, S22, S24, U23, N11, N13. Все они служат яркими примерами природной реализации резонанса Лидова-Козаи.

В наших работах [3], [4] модель двукратно осредненной задачи Хилла была уточнена путем учета в вековой части возмущающей функции слагаемых, соответственно, третьего и четвертого порядков относительно малого параметра – отношения средних движений планеты и спутника. Полученный в форме Лидова один из первых интегралов эволюционной задачи позволил, в частности, наглядно представить в фазовой плоскости [“omega” – аргумент перицентра, “e” – эксцентриситет] (рис. 1) области, соответствующие траекториям соударения спутника с планетой конечного радиуса. Горизонтальная прямая, проходящая через особую точку – линия критического эксцентриситета циркуляционных (светлая тонировка) и либрационных (тёмная тонировка) орбит.

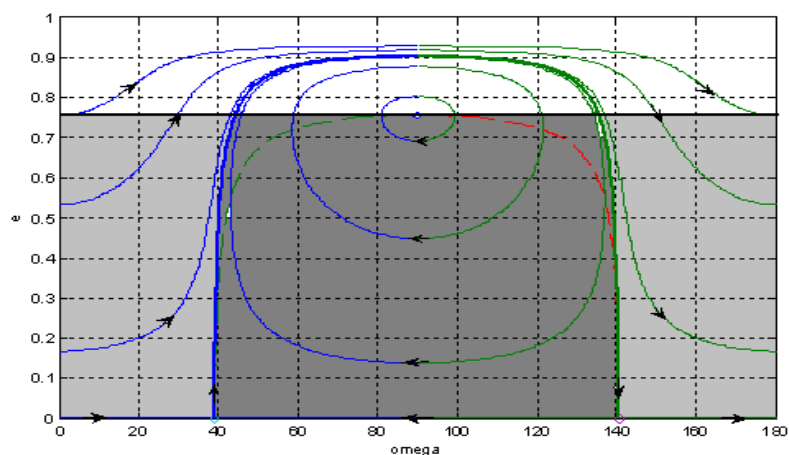


Рис. 1. Фрагмент фазового портрета эволюционной задачи Хилла.

Решение 4-го порядка дало возможность уточнить аналитические зависимости от времени элементов эволюционирующих орбит спутников по сравнению с ранее известными решениями. Для орбиты спутника

Нептуна N13 (рис. 2) решение второго порядка или двукратно осредненной задачи Хилла  $\omega(2)$  (жирная линия) даже качественно отличается от результатов численного интегрирования строгих уравнений движения (тонкая линия).

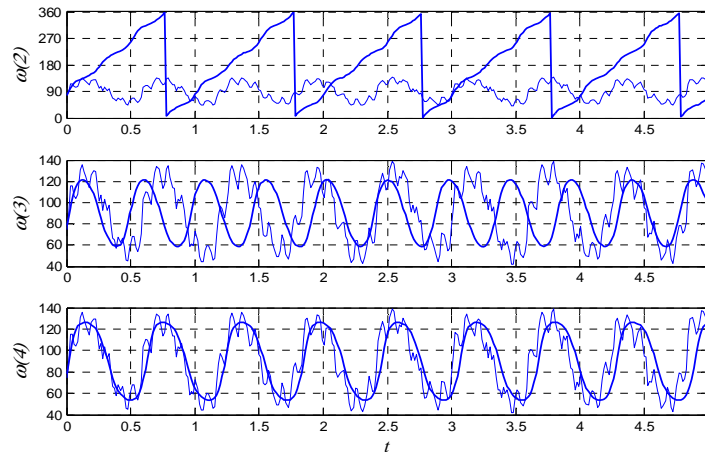


Рис. 2. Зависимости от времени аргумента перицентра орбиты спутника Нептуна N13.

В то же время как решение 4-го порядка  $\omega(4)$  (жирная линия на нижнем фрагменте), кроме качественного, дает и хорошее количественное совпадение на длительном интервале времени 5 тыс. лет.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований в рамках международного гранта № 07-02-92169-НЦНИ\_a и гранта научной школы № НШ-6700.2010.1.

### *Литература*

1. Лидов М.Л. // Искусственные спутники Земли. 1961. Вып. 8. С. 5–45.
2. Kozai Y. // Astronomical Journal. 1962. V. 67. P. 591 - 598.
3. Вашковьяк М.А., Тесленко Н.М. // Письма в Астрономический журнал. 2009. Т. 35. С. 934 – 950.
4. Вашковьяк М.А. // Астрономический вестник. 2010. Т. 44. С. 560-573.