РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ АСТРОНОМИИ

На правах рукописи

ЗАМАРАШКИНА Марина Дмитриевна

Динамика кометы Шумейкеров–Леви 9

Специальность 01.03.01
Астрометрия и небесная механика

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Санкт-Петербург
2003

Работа выполнена в Институте прикладной астрономии РАН.

Научный руководитель:

доктор физико-математических наук Ю.Д.Медведев

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук, профессор Ю.В.Батраков
кандидат физико-математических наук Е.Н.Поляхова

Ведущая организация:

Государственный астрономический институт
им. П. К. Штернберга, Москва

Защита диссертации состоится 26 июня 2003 г. в 13 час. 00 мин. на заседании диссертационного совета Д 002.067.01 при Институте прикладной астрономии РАН по адресу: 191187 С.-Петербург, наб. Кутузова, д. 10.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института прикладной астрономии РАН.

Автореферат разослан "____" мая 2003 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор физ.-мат. наук З.М.Малкин

Общая характеристика работы

Актуальность темы диссертации

Два события, произошедшие в конце XX века, сыграли огромную роль в оценке правильности теоретических разработок в изучении ядер комет и уточнении их орбит. Первое произошло в марте 1986 года, когда космические аппараты "Вега–1", "Вега–2" и "Джотто" пролетели мимо ядра кометы Галлея.

Другое уникальное событие произошло в июле 1994 года. Фрагменты кометы Шумейкеров–Леви 9 (ШЛ9), распавшейся более чем на 20 частей при сближении с Юпитером, вошли в атмосферу Юпитера и вызвали в ней серию взрывов, наблюдавшихся на Земле. Следует отметить, что комета была открыта всего за 1.5 года до падения уже после распада родительского тела. На снимках области неба вблизи Юпитера до сближения с ним кометы обнаружить неопознанный небесный объект не удалось. Поэтому вопрос о том, каким образом и когда комета появилась на орбите спутника Юпитера, остается открытым.

До сих пор не проанализировано и не устранено несовпадение оценок размеров ядра (0.1–10 км). Оценки размеров родительского ядра кометы ШЛ9, полученные из обработки фотометрических наблюдений, как правило, в несколько раз больше величин, вычисленных на основе динамических характеристик кометы и ее фрагментов.

По мере накопления наблюдательных данных и теоретических разработок привлекает все большее внимание проблема астероидно-кометной опасности. Последствия столкновения небесных тел оцениваются на основе наших знаний об их физических и динамических характеристиках. Сильно вытянутые орбиты, сближения с большими планетами, присутствие негравитационных эффектов вносят значительные изменения в эфемериду кометы. Оценки энергии столкновения зависят от размеров падающего тела и его начальной скорости. Остается открытым вопрос о преимущественном направлении появления комет, сближающихся с большими планетами. Поэтому все задачи, связанные с уточнением размеров комет и элементов их орбит, в настоящее время очень актуальны.

Существует еще одна область исследований, для которой необходимы максимально точные данные о размерах фрагментов кометы. Взрывы фрагментов в атмосфере Юпитера вызвали в ней целый ряд явлений, наблюдавшихся несколько лет после столкновения. Неопределенности в оценке размеров, масс, скоростях падающих тел приводят к существенным неточностям в газодинамических уравнениях, описывающих процессы, происходящие в атмосфере планеты.

Таким образом, задача определения размеров и исследования эволюции кометы ШЛ9 является актуальной для решения следующих вопросов:

1. Обстоятельства и механизмы захвата комет на спутниковые орбиты. Вероятность распада небесных тел при прохождении вблизи Юпитера.

2. Проблема кометно-астероидной опасности. Определение преимущественного направления движения и размеров комет, сближающихся с большой планетой.

3. Исследование химического состава и плотности атмосферы Юпитера, основанное на наблюдениях падений фрагментов.

Цели работы

1. Уточнение динамики кометы ШЛ9 и ее фрагментов. Вы-

явление обстоятельств, ведущих к временным захватам на спутниковую орбиту Юпитера.

2. Оценка размеров родительского ядра кометы Шумейкеров–Леви 9 по наблюдениям ее фрагментов, уточнение момента и характера распада ядра.
3. Изучение влияния различных сил и эффектов на движение кометы в окрестности Юпитера. Рассмотрение возможных причин появления негравитационных возмущений в движении кометы.
4. Исследование возможной генетической связи кометы ШЛ9 с объектами, движущимися в окрестности Юпитера.

Научная новизна работы

1. В работе представлена методика улучшения орбит фрагментов с включением в условные уравнения различных типов наблюдений: позиционных и временных. На основе данной методики был развит динамический метод, предложенный Ю. А. Чернетенко и Ю. Д. Медведевым (*Chernetenko Y. A., Medvedev Y. D. Estimate of the Shoemaker–Levy 9 nucleus size from position observations. Planet. Space Sci., 1994, 42, 1, 95–96*). Это позволило уточнить размеры ядра и угловую скорость его вращения на основе сценария последовательной фрагментации родительского тела.
2. На основе статистического исследования сделан вывод о наиболее вероятном происхождении кометы ШЛ9 как долговременного спутника Юпитера. Рассмотрена гипотеза о возможной генетической связи кометы ШЛ9 с кометами Отерма и Герелс 3.
3. Проведен анализ негравитационных возмущений, действующих на комету в окрестности Юпитера. Исследована эво-

люция орбиты кометы с учетом негравитационного ускорения в движении ее фрагментов.

4. На основе численной теории движения кометы проанализирована возможность эпиковского захвата. Показано, что эпиковский захват маловероятен, как вариант появления фрагментов кометы ШЛ9 на спутниковых орбитах.

5. Определена ориентация пылевых хвостов кометы с учетом возмущений, вызванных в движении пылевых частиц прямым и отраженным от поверхности Юпитера излучением Солнца.

Научная и практическая значимость работы

1. Разработана методика улучшения параметров орбиты фрагментов с различным типом наблюдений: позиционных и моментов падений. Применение данной методики позволяет уточнить параметры орбиты кометы.

2. Выявлены факты, подтверждающие гипотезу поэтапной фрагментации ядра кометы ШЛ9 и на основе этого сделана оценка размеров ее родительского тела, соответствующая фотометрическим наблюдениям фрагментов.

3. На примере эволюции орбиты кометы ШЛ9 исследованы механизмы, ведущие к захватам комет на спутниковую орбиту Юпитера.

4. Получены данные, выявляющие возможную генетическую связь кометы ШЛ9 с скоплением астероидов “Греки”, что является фактом в поддержку теории о возможном генетическом родстве короткопериодических комет и астероидов данного скопления.

5. Сделан анализ значимости различных возмущений в движении кометы, находящейся в окрестности Юпитера, с целью построения более точной ее орбиты.
6. Сделан вывод о необходимости учета возмущающего ускорения из-за отраженного от поверхности Юпитера излучения Солнца при построении траектории движения пылевой частицы в окрестности Юпитера и предложен алгоритм вычисления данного ускорения.

Результаты, выносимые на защиту:

1. Динамические характеристики родительского тела кометы ШЛ9 и размеры его ядра. Теория поэтапного распада ядра кометы.
2. Обстоятельства захвата кометы ШЛ9 на спутниковую орбиту Юпитера. Эволюция орбиты кометы до распада ее ядра.
3. Анализ сил, действующих на комету в окрестности Юпитера. Оценка возможности эпиковского захвата кометы в 1992 году на основе численной теории движения.

Апробация работы

Результаты, полученные в диссертации, представлялись на:

1. Всероссийской астрономической конференции “ВАК–2001”, СПб, СПбГУ, 2001год.
2. Научных семинарах в ИПА РАН, СПб, 2002–2003 годы.
3. Международной конференции “Asteroids, Comets, Meteors” (ACM–2002), 29 July–2 Aug. 2002, Germany, Berlin.

4. Международной конференции “Celestial Mechanics–2002: Results and Prospects”. IAA RAS, SPb, 10–14 сентября 2002 г.

Публикации и вклад автора

Материалы диссертации опубликованы в 5 работах, из которых 3 написаны совместно с Ю.Д.Медведевым. В совместных работах автору принадлежат решение поставленных в работе задач и анализ полученных результатов.

Объем и структура диссертации

Диссертация состоит из введения, 6 глав, заключения и 2 приложений. Общий объем диссертации 140 страниц. Диссертация содержит 53 таблицы, 51 рисунок и список литературы из 115 названий.

Содержание диссертации

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цели работы, указаны научная новизна, научная и практическая значимость результатов работы, перечислены результаты, выносимые на защиту, приведены структура и содержание диссертации, указаны печатные работы, в которых отражены основные результаты и определена доля участия автора в совместных публикациях.

В **первой главе** исследованы динамические и физические особенности тел, движущихся в окрестности Юпитера, с целью выявления их возможной генетической связи с кометой ШЛ9. Отдельно исследованы динамические характеристики спутников Юпитера и его пылевые кольца. Рассмотрена история открытия одиннадцати новых спутников Юпитера, движущихся по близким друг к другу орбитам.

Представлены улучшенные системы начальных данных для двух комет семейства Юпитера — Отерма и Герелса 3. Построена их ретроспективная эволюция на 5000 лет. Приводятся графики и данные о сближениях комет с Юпитером и Сатурном на расстояние меньшее 1 а.е. за 5000 лет.

Во **второй главе** сделан обзор моделей кометных ядер, приведены современные данные о их физических и химических характеристиках. В данной главе составлены уравнения движения кометы, движущейся в окрестности Юпитера, и рассмотрены способы их решения. Проведено исследование значимости возмущений, определяющих движение кометы в окрестности Юпитера. Рассмотрены следующие возмущения: от Солнца и больших планет, галилеевых спутников, несферичности гравитационного поля Юпитера, релятивистские поправки, негравитационное ускорение, вызванное сублимацией некоторых веществ, входящих в состав ядра. Даны рекомендации для выбора ускорений, входящих в уравнение движение кометы, при построении траектории ее движения с различной степенью точности.

В главе представлена методика улучшения орбит фрагментов с различным типом наблюдений: позиционных и моментов падений. Для этой цели получены уравнения в вариациях для вычисления изохронных производных моментов падений фрагментов от их начальных положений и скоростей. Эти уравнения записываются в следующем виде:

$$-\left(\overline{r}^T\frac{\partial\overline{r}}{\partial\overline{r}_0{}^T}\Delta\overline{r}_0+\overline{r}^T\frac{\partial\overline{r}}{\partial\dot{\overline{r}}_0{}^T}\Delta\dot{\overline{r}}_0\right)\cdot\left(\overline{r}^T\frac{\partial\overline{r}}{\partial t}\right)^{-1}=\Delta t, \qquad (1)$$

где Δt — разность наблюденного и вычисленного моментов падения фрагмента, $\frac{\partial\overline{r}}{\partial\overline{r}_0{}^T}$ и $\frac{\partial\overline{r}}{\partial\dot{\overline{r}}_0{}^T}$ — изохронные производные текущего положения фрагмента по его начальным положению и скорости, которые вычислялись численным интегрированием матричного дифференциального уравнения вида (*Bettin R. H. Astronautical guidance. McGraw–Hill Book Company, 1964, 447 p.*):

$$\frac{d}{dt}\Phi(t) = \begin{pmatrix} 0 & I \\ F & 0 \end{pmatrix} \cdot \Phi(t). \tag{2}$$

Здесь Φ — матрица (6×6) частных производных компонентов положения и скорости на текущий момент от компонентов положения и скорости в начальный момент, 0 — нулевая матрица (3×3), I — единичная матрица (3×3), F — матрица (3×3) частных п производных от компонентов вектора гравитационного ускорения от Юпитера (центрального тела) и Солнца по координатам фрагмента.

В **третьей главе** рассмотрена истории вопроса изучения динамики кометы ШЛ9. Рассмотрена точность и распределение позиционных наблюдений фрагментов. Проанализированы данные о моментах падений фрагментов на Юпитер.

В **четвертой главе** определены размеры и угловая скорость вращения родительского ядра кометы ШЛ9. Для этого с применением алгоритма, позволяющего использовать два вида наблюдений: позиционные и временные, были получены параметры орбит 13-ти фрагментов кометы ШЛ9. Улучшенная система начальных данных, вычисленных с применением данного алгоритма: три компоненты положения и скорости фрагмента H в юпитероцентрической экваториальной системе координат на эпоху T=2449300.5 TDT приведены в табл. 1.

Таблица 1.

x	-5.757917328$\cdot 10^{-2} \pm 0.624 \cdot 10^{-5}$	а.е.
y	0.280821549$\pm 0.207 \cdot 10^{-5}$	а.е.
z	-0.111592902$\pm 0.200 \cdot 10^{-5}$	а.е.
$\dot{x}$	4.405555294 $\cdot 10^{-5} \pm 0.564 \cdot 10^{-8}$	а.е./сутки
$\dot{y}$	-3.806591573 $\cdot 10^{-4} \pm 0.142 \cdot 10^{-9}$	а.е./сутки
$\dot{z}$	9.360961648 $\cdot 10^{-5} \pm 0.117 \cdot 10^{-9}$	а.е./сутки
σ	0.582	секунд дуги

Сделана оценка радиуса сферы внутри атмосферы Юпитера, на которой происходили вспышки яркости, фиксируемые наземными наблюдателями. Для этого, помимо расстояния 70147 км от центра Юпитера, соответствующего давлению 1 бар в его атмосфере, были рассмотрены варианты, в которых моменту вспышки соответствовали другие расстояния от центра Юпитера. Для каждого такого варианта определялось значение средней ошибки единицы веса, σ, — результат совместной обработки позиционных наблюдений и моментов падений для отдельного фрагмента. При уравнивании условных уравнений для моментов падений совместно с условными уравнениями для позиционных наблюдений первые домножались на вес. Вес вычислялся как отношение ошибки единицы веса позиционных наблюдений, полученной без учета моментов падений, к ошибке определения наблюденного момента падения. Оказалось, что наименьшие значения σ достигаются при расстояниях равных 40–50 тысячам километров от центра Юпитера. Возможным объяснением столь небольших значений полученных расстояний может служить то, что наблюдателями фиксировался не момент падения, а момент всплытия огненного шара с продуктами падения на поверхность планеты.

Далее в данной главе решаются вопросы, связанные с оценкой некоторых характеристик родительского ядра кометы ШЛ9.

В главе изложено описание динамического метода, основанного на определении размеров родительского ядра по позиционным наблюдениям фрагментов, и решена модельная задача, показывающая эффективность данного метода. Динамический метод строится на основе предположения, что различие орбит фрагментов, в основном, обусловлено положениями фрагментов относительно центрального в родительском теле кометы. В качестве центрального был выбран фрагмент H. Отклонения в положении 13-ти фрагментов кометы ШЛ9 относительно фрагмента H в момент распада ядра определялись из улучшения орбиты фрагмента H по наблюдениям соответствующих фрагментов. С целью повышения точности улучшение проводилось в орбитальной системе координат.

На рис. 1 по оси абсцисс приведены значения радиальной компоненты положения фрагментов, Δr (в км), по оси ординат — значения трансверсальной компоненты скорости, ΔV_t, (в см/сек), полученные при обработке наблюдений остальных 12-ти фрагментов кометы на момент прохождения перийовия, $T_0 = 2448811.388977 TDT$, орбиты фрагмента H.

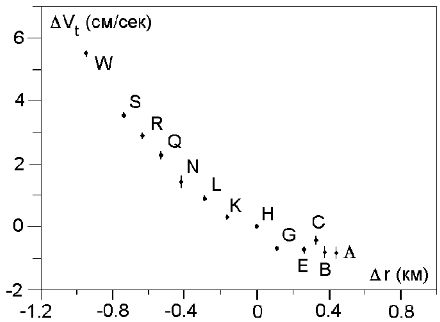

Рис. 1.

Ошибки значений ΔV_t изображены в виде вертикальных отрезков, длины которых соответствуют величине ошибки. Точность определения поправок в положении — 1–4 метра, поэтому ошибки определения Δr заключены внутри точки, представляющей положение каждого конкретного фрагмента.

Вычислив максимальное расстояние между фрагментами по радиальной компоненте положения, можно сделать оценку диаметра ядра кометы до ее распада. Рис. 1 показывает, что, если комета распалась при максимальном сближении с Юпитером в момент T_0, то диаметр ее ядра равен 1.39 км.

В результате использования динамического метода была составлена табл. 2, в предположении, что процесс распада мог начаться в пределах двух часов до момента прохождения фрагментом H перийовия орбиты $_0$ и после него. В этой таблице T — момент распада ядра кометы ШЛ9 (в часах) относительно T_0, D (ядра) — диаметр родительского ядра кометы (в км).

Таблица 2.

T	$T_0 - 2^h$	$T_0 - 1^h$	T_0	$T_0 + 1^h$	$T_0 + 2^h$
D (ядра)	9.03	4.00	1.39	3.78	8.98

Каждый из столбцов табл. 2 представляет один из вариантов эволюции ядра и содержит: момент начала распада и соответствующий ему размер родительского ядра кометы. Так, если распад ядра кометы произошел в момент прохождения перийовия фрагментом H, то диаметр ядра равен 1.39 км, если за час до перийовия — то оценка диаметра ядра должна быть увеличена до 4.0 км.

Были обнаружены факты, подтверждающие сценарий последовательной фрагментации ядра. Для этого вычислены минимальные расстояния между орбитой фрагмента H и орбитами других фрагментов. Выявлены две группы фрагментов: первая группа характеризуется тем, что минимальные расстояния для орбит этих осколков сосредоточены в окрестности перийовия орбиты H, во второй группе — достигаются в других точках орбиты. Для большей наглядности подготовлен рис. 2.

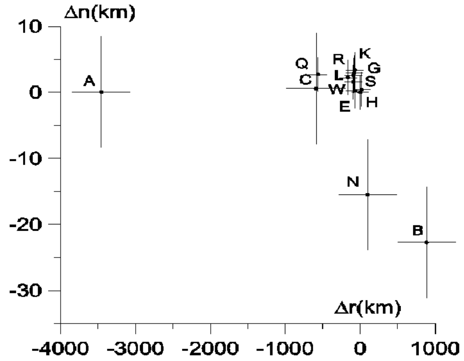

Рис. 2.

По этому рисунку можно судить о расстояниях между орбитами 12-ти фрагментов кометы и орбитой фрагмента H в момент его максимального сближения с Юпитером, T_0. Здесь плоскость рисунка совпадает с картинной плоскостью, перпендикулярной к траектории движения фрагмента H в момент прохождения им перийовия своей орбиты.

На рис. 2 показаны положения точек и ошибки их определения в орбитальной системе координат (ось абсцисс — радиальное направление в км, ось ординат — нормальное), в которых орбиты фрагментов пересекли эту плоскость. Координаты (0,0) соответствуют положению фрагмента H. Δr — отклонения фрагмента от H вдоль радиус–вектора, Δn — соответствующее отклонение вдоль нормали к плоскости орбиты фрагмента H, вертикальные и горизонтальные черточки — средние квадратичные ошибки определения Δr и Δn.

Сделанные вычисления позволили оценить момент времени, когда фрагмент A отделился от родительского тела (в нашем случае — от осколка H), в пределах $50 - 60$ минут до момента максимального сближения фрагмента H с Юпитером.

Определена угловая скорость вращения ядра на момент, когда распад предположительно начался. По наблюдения 12-ти фрагментов были найдены поправки к радиальной составляющей проложения, Δr, и трансверсальной составляющей скорости, ΔV_t, фрагмента H и по этим значениям вычислены значения угловой скорости вращения ядра для каждого фрагмента по формуле:

$$\omega = \frac{\Delta V_t}{\Delta r}. \qquad (3)$$

Ошибки определения ω составляли примерно 10^{-6} радиан/сутки.

Таким образом, была определена угловая скорость вращения каждого фрагмента вокруг оси, перпендикулярной к плоскости орбиты H, в предположении, что в момент распада ядро вращалось вокруг центра H. Полученные величины угловой скорости для 12-ти фрагментов кометы приведены в табл. 3.

Таблица 3.

A	B	C	E	G	K	L	N	Q	R	S	W
2.3	2.3	2.1	2.3	2.4	3.1	3.2	3.1	3.1	3.3	3.4	3.4

В данной таблице в первой строке приводятся обозначения фрагментов, на основе наблюдений которых проводилось данное исследование, во второй — оценка угловой скорости вращения ядра в радианах за сутки. Средняя угловая скорость вращения ядра по этим фрагментам получилась равной 2.8 радиана в сутки, что позволило оценить период вращения ядра в **54** часа.

В предположении о последовательной фрагментации был определен диаметр родительского ядра кометы ШЛ9 — **4** км.

Полученная оценка диаметра родительского тела дала возможность определить размеры отдельных фрагментов. Предполагая, что основная масса кометного ядра была сосредоточена в 13-ти наиболее крупных фрагментах, средний диаметр может быть определен из соотношения:

$$D = \frac{4.0}{\sqrt[3]{13}} \approx 1.6. \qquad (4)$$

Значение диаметра фрагмента ≈ 1.6 км согласуется с оценками размеров фрагментов, полученных из фотометрических наблюдений:
1.6 км (*Weissman P. R. If it quacks like a comet... Icarus, 1996, 121, 2, p.275–280*), **2–3** км (*Jewett D., Luu J., Chen J. Physical properties of split Comet Shoemaker-Levy 9 with Jupiter. Bull. Amer. Astr. Soc., 1993, 25, 3, p.1042*), **0.1–1.5** км (*Hahn J. M., Retting T. W. Comet Shoemaker–Levy 9 dust size and velocity disturbation. Icarus, 2000, 146, 2, p.501–513*).

Проделанные вычисления позволили предположить следующий сценарий распада родительского тела кометы ШЛ9 и оценить его размеры. Ядро размером 4 км в диаметре и периодом вращения 54 часа 7-ого июля 1992-ого года сблизилось с Юпитером на минимальное расстояние 92395 ± 265 км. Приблизительно за 50–60 минут до этого момента ядро начало разрушаться. В этот период образовались фрагменты A и B, затем, вероятно, произошло отделение фрагментов C и N. Окончательно ядро разрушилось в перийовии своей орбиты. В результате образовалось более двух десятков отдельных фрагментов размером, в среднем, 1.6 км в диаметре.

Ядро кометы, скорее всего, представляло собой конгломерат крупных ледяных фрагментов, смерзшихся в единое целое, т.е. было близко по физическим характеристикам к модели кометного ядра, разработанного Вейсманом (*Weissman P. R. Are cometary nuclei primordial rubble pies? Nature, 1986, 320, p.242–244*) и названного им “rubble piles”.

В **пятой главе** с целью получения наиболее вероятной орбиты кометы исследована ее эволюция до распада ядра. Для определения начальных данных был выбран метод отображения области случайных значений вектора состояния фрагмента Н на моменты, предшествующие сближению кометы с Юпитером. Операция отображения осуществлялась путем выбора достаточно плотного пучка траекторий. Случайность процесса выбора начальных данных для интегрирования обеспечивалась датчиком случайных чисел. Данным методом по случайным выборкам начальных данных было проинтегрировано 1050 орбит. Построена гистограмма распределения трех вариантов эволюции орбиты кометы по времени до 1900 года. По результатам, отраженным на гистограммах, получено следующее количество реализаций трех вариантов эволюции: для 770 траекторий статистический двойник кометы ШЛ9 остался на спутниковой орбите, для 196 — ушел на гелиоцентрическую орбиту и для 84 — упал на Юпитер. Эти данные позволили сделать вывод о наиболее вероятном варианте эволюции, при котором комета находилась на орбите спутника Юпитера с 1900 года до момента открытия.

Сделана попытка выявления возможной генетической связи между кометой ШЛ9 и кометами Отерма и Герелс 3 на основе определения минимальных расстояний между объектами. Полученные результаты приведены в табл. 4:

Таблица 4.

Объекты	Дата	ΔR (а.е)
Отерма–ШЛ9	2438194.5	$3.3071 \cdot 10^{-2}$
Герелс 3–ШЛ9	2440814.5	$8.9191 \cdot 10^{-2}$

Полученная величина взаимного расстояния между кометами в момент сближения являлась критерием их тождественности. Проведенное нами исследование показало, что на пределе точности интегрирования, генетическая связь между кометой ШЛ9 с кометами Отерма и Герелс 3, вероятнее всего, отсутствует.

Исследована возможная генетическая связь кометы ШЛ9 с семействами астероидов “Греки”–“Троянцы”. С этой целью был исследован вариант эволюции статистического двойника кометы ШЛ9, при котором захват его с гелиоцентрической орбиты произошел в 1925 году. По расположению траектории движения кометы относительно Юпитера показана возможность принадлежности кометы к скоплению “Греки” до захвата. Приведена таблица элементов орбит астероидов данного семейства, наиболее близких к ШЛ9 (*http://cfa–www.harvard.edu/iau/lists/JupiterTrojans.html*) и гелиоцентрические элементы кометы до захвата.

Таблица 5.

Название объекта	q	ω	Ω	i	e	a
ШЛ9	5.230	339.83	319.02	5.2	0.176	6.34
(659)Nestor	4.627	340.0	351.0	4.5	0.113	5.22
2002 CU152	4.001	260.6	359.6	7.9	0.224	5.16
2002 CF79	4.382	241.0	353.8	7.2	0.161	5.22
2002 CT22	4.317	298.2	337.4	7.6	0.123	4.92

На основе численной теории движения кометы проанализирована возможность эпиковского захвата как варианта эволюции кометы ШЛ9. Подробно рассмотрен механизм эпиковского захвата и определены динамические характеристики тела при его разрушении, при которых этот захват может осуществиться. Построены траектории движения кометы ШЛ9 в зависимости от размеров ее родительского ядра. Выявлено, что эпиковский захват реализуется для тела, имевшего диаметр более 80-ти км. При распаде тела таких размеров часть фрагментов, располагающихся ближе к Юпитеру относительно центра инерции тела, будет захвачена на спутниковую орбиту. Однако выявлено, что в этом случае другие части тела, находящиеся на параболических и гиперболических относительно Юпитера орбитах, достаточно долго движутся вблизи захваченных фрагментов. Поэтому, в момент открытия фрагментов, находящихся на орбите спутника Юпитера, эти фрагменты также должны были наблюдаться, что делает эпиковский механизм в данном случае маловероятным.

В **шестой главе** рассмотрены вопросы, связанные с исследованием возможного возникновения дополнительного ускорения в момент распада ядра. Задачей нашего исследования являлось определение динамических характеристик кометы, при которых осуществляется ее уход на параболическую орбиту сразу после распада ядра при интегрировании назад. Наблюдений кометы до марта 1993 года не найдено. Поэтому основным критерием реальности предложенного варианта эволюции орбиты кометы является его соответствие движению фрагментов в наблюдаемый период с марта 1993 по июнь 1994 года. При расчетах мы предполагали, что траектория движения центра инерции кометы определяется вектором состояния ее фрагмента H.

Это исследование состояло из двух этапов.

В первой части исследована возможность определения величины негравитационного ускорения при улучшении параметров орбит фрагментов. Для этого в правые части системы уравнений движения фрагмента было добавлено дополнительное ускорение в виде:

$$f_t = A_2 \cdot g(r), \qquad (5)$$

где f_t — трансверсальная компонента ускорения в системе координат, связанной с кометой, $g(r)$ — функция от юпитероцентрического расстояния кометы, A_2 — постоянный коэффициент, которые определялся с параметрами орбиты фрагмента в процессе улучшения. Сделан вывод, что подключение негравитационного ускорения при $g = (1/r^2)$ позволяет уменьшить ошибку единицы веса при улучшении параметров орбиты фрагментов на 0.02–0.001 секунд дуги. Учет этого ускорения с A_2, взятом из интервала 3σ, позволяет осуществить захват фрагментов кометы на спутниковые орбиты в 1992 году.

На следующем этапе исследования мы предположили еще один вариант динамической модели движения фрагментов. Он отличается от первого тем, что негравитационное ускорение постоянно. При расчетах мы предполагали, что это ускорение включается в систему сил, определяющих движение фрагмента, в момент распада ядра и становится незначимым к моменту первого наблюдения.

Нами была исследована эволюция орбиты кометы до распада в 1992 году с учетом реактивного ускорения. Величина дополнительного ускорения для реализации такого варианта эволюции была найдена из численного моделирования:$a = -4.4 \cdot 10^{-6} a.e./^2$.

В следующем разделе данной главы предложен алгоритм учета возмущений в движении пылевой частицы со стороны прямого и отраженного от поверхности Юпитера солнечного излучения. На примере наблюдений пылевых хвостов кометы ШЛ9 показано, что для пылевой частицы с большой парусностью учет прямого и отраженного излучения уменьшает ошибку между вычисленными и наблюденными положениями частицы.

В **заключении** сформулированы основные результаты, полученные в диссертации.

В **приложении 1** приведены физические характеристики спутников Юпитера.

В **приложении 2** приведены элементы орбит нумерованных астероидов, принадлежащие скоплению "Греков" и "Троянцев".

Основные результаты диссертации опубликованы в работах:

Ссылки

[1] *Замарашкина М.Д., Медведев Ю.Д.* Динамика кометы Шумейкеров–Леви 9. Всероссийская астрономическая конференция. Тезисы докладов, СПб, 2001, стр.69.

[2] *Zamarashkina M.D., Medvedev Yu.D.* Estimate of P/Shoemaker–Levy 9 nucleus size. IAA Transactions N.8. Celestial Mechanics.–SPb: IAA RAS, 2002, p.182–183.

[3] *Zamarashkina M., Medvedev Yu.* Dynamics of Comet Shoemaker–Levy 9. Proceedings of "Asteroids, Comets, Meteors" (ACM 2002), 29 July–2 Aug. 2002, Berlin, pp.457–460.

[4] *Замарашкина М.Д.* Размеры и период вращения родительского ядра кометы Шумейкеров-Леви 9 из наблюдений его фрагментов. Сообщения ИПА РАН, 2003, вып. 152.–СПб, ИПА РАН, 28 стр.

[5] *Замарашкина М.Д.* Эволюция орбиты кометы Шумейкеров–Леви 9 до распада ее ядра. Сообщения ИПА РАН, 2003, вып. 154.–СПб, ИПА РАН, 28 стр.

Подписано к печати 22.05.2003. Формат 60 × 90/16. Офсетная печать.
Печ. л. 1.0 Уч.-изд. л. 1.1. Тираж 100 Заказ 61 бесплатно

Отпечатано в типографии "Август"
(193148, Санкт-Петербург, ул. Крупской, д. 55).

ИПА РАН, 191187 С.-Петербург, наб. Кутузова, д. 10