ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ АСТРОНОМИИ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

На правах рукописи

ПИТЬЕВА
Елена Владимировна

УТОЧНЕНИЕ ЭФЕМЕРИД БОЛЬШИХ ПЛАНЕТ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕКОТОРЫХ АСТРОНОМИЧЕСКИХ ПОСТОЯННЫХ ПО РАДИОЛОКАЦИОННЫМ НАБЛЮДЕНИЯМ

СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 01.03.01
АСТРОМЕТРИЯ И НЕБЕСНАЯ МЕХАНИКА

АВТОРЕФЕРАТ
диссертация на соискание ученой степени
кандидата физико - математических наук

Санкт-Петербург
1994

Работа выполнена в Институте прикладной астрономии Российской Академии наук.

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук Ю.В. Батраков

кандидат физико-математических наук А.В. Кривов

Ведущее предприятие: ЦНИИМАШ

Защита состоится "27" июня 1994 года в 15 час. 00 мин. на заседании Специализированного совета Д-200.06.01 по присуждению ученой степени кандидата физико-математических наук при Институте прикладной астрономии Российской Академии наук по адресу : 294042, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, д.8.

С диссертацией можно ознакомится в библиотеке ИПА РАН.

Автореферат разослан "18" мая 1994 года.

Ученый секретарь Специализированного совета

канд. тех. наук А.Т. Байкова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Все усложняющиеся космические эксперименты, а также введение в астрономическую практику новых наблюдательных методов (локация планет и Луны, траекторные измерения и т.д.) предъявили новые, повышенные требования к точности планетных эфемерид. С другой стороны, именно эти наблюдения обеспечили возможность создания эфемерид следующего поколения. Использование таких эфемерид открывает новые перспективы для уточнения значений некоторых важных астрономических постоянных и позволяет, в частности, провести проверку общей теории относительности и конкурирующих с ней теорий. Особый интерес представляет также возможность экспериментального обнаружения переменности гравитационной постоянной. Высокоточные радиолокационные наблюдения планет наилучшим образом подходят для решения этих задач, т.к. ошибки оцениваемых параметров уменьшаются с увеличением времени наблюдений, а радиолокация планет уже охватывает интервал в тридцать лет. Проблеме использования этих наблюдений посвящена диссертационная работа.

Цель работы, заключается в использовании радиолокационных наблюдений больших планет для построения высокоточной численной теории движения больших планет и Луны, необходимой для обеспечения космических экспериментов, и уточнении на ее основе ряда астрономических постоянных.

Научная новизна. Для обработки радиолокационных наблюдений автором был реализован ряд новых алгоритмов. В частности, была разработана методика и выполнена редукция за топографию Марса, Венеры и Меркурия, существенно увеличившая точность определения элементов орбит и астрономических постоянных, послуживших основой для построения долгосрочной численной теории движения больших планет и Луны (EPM - Ephemerides of planets and Moon), охватывающей интервал XVIII-XX вв.

По радиолокационным наблюдениям уточнены значения ряда астрономических постоянных (астрономическая единица, гравитационная постоянная и ее вариация, релятивистские параметры, сжатие Солнца), показавшие, в частности, что статистически значимые отличия от теоретических значений ОТО отсутствуют.

Практическая ценность определяется возможностью использования построенной теории движения планет для решения эфемеридных задач, требующих повышенной точности. Одним из источников единой релятивистской теории движения планет, созданной в СССР, и изданных на ее основе Дополнений к Астрономическому Ежегоднику СССР на 1980-1990 гг. была построенная численная теория EPM.

Развитая в работе методика редукции наблюдений за топографию планет может быть использована при обработке наиболее точных радиолокационных измерений планет.

Апробация работы. Основные результаты, полученные в диссертации, докладывались на следующих научных конференциях:

1. Всесоюзное совещание по астрономическим эфемеридам, Ленинград, ноябрь 1977 г.

2. Летняя школа по радиоастрометрии, Кацивели (Крым), октябрь

1978 г.

3. Всесоюзное совещание по астрономическим эфемеридам, Ленинград, октябрь 1979 г.

4. Конференция молодых ученых, Ленинград, ИТА АН СССР, апрель 1980 г.

5. 22 астрометрическая конференция СССР, Москва, июнь 1981 г.

6. Симпозиум МАС N 114, "Теория относительности в небесной механике и астрометрии", Ленинград, май 1985 г.

7. Совместная научная сессия Отделений общей физики, астрономии и ядерной физики АН СССР, Москва, сентябрь 1986 г.

8. Всесоюзное совещание "Исследование фигур и гравитационных полей Земли, Луны и планет", Ленинград, ИТА АН СССР, ноябрь 1988 г.

9. 127 коллоквиум МАС "Системы отсчета", Вирджиния Бич (США), октябрь 1990 г.

10. Всесоюзное совещание "Эфемеридная астрономия и позиционные наблюдения", Ленинград, ИТА АН СССР, сентябрь 1991 г.

11. Третья международная Орловская конференция "Изучение Земли как планеты методами астрономии, геофизики, геодезии", Одесса, сентябрь 1992 г.

12. Международная конференция "Динамика и астрометрия естественных и искусственных небесных тел", Познань (Польша), сентябрь 1993 г.

13. Российская астрометрическая конференция, Пулково, октябрь 1993 г.

14. Конференция "Теоретическая, прикладная и вычислительная небесная механика", ИТА РАН, Санкт-Петербург, октябрь 1993 г.

Публикации. Основные результаты по теме диссертации опубликованы в работах: /1/ - /12/, из которых шесть написаны в соавторстве /1,3,5,7,8,10/. В совместных публикациях автору принадлежит математическое моделирование движения больших планет в теории EPM и обработка, анализ радиолокационных наблюдений: их редукция, составление нормальных мест, уточнение по ним орбит внутренних планет и определение по этим наблюдениям некоторых астрономических постоянных.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из четырех глав и заключения. Она изложена на 111 страницах, включает 21 рисунок и 10 таблиц. В списке литературы 126 наименований.

Первая глава носит вводный характер и содержит краткую историю радиолокационных наблюдений и возможностей, которые они представляют, в ней также обсуждается постановка задачи и сформулированы основные результаты, выносимые на защиту.

Глава II "Радиолокационные наблюдения и особенности их обработки" содержит описание всех доступных радиолокационных наблюдений больших планет и методику их редукции. Обсуждается эффект запаздывания радиосигналов в плазме солнечной короны, выведено аналитическое выражение для соответствующей редукции и определены параметры модели распределения плотности в солнечной короне. Особое внимание уделено редукции за топографию поверхностей лоцируемых планет, пренебрежение которой вносит значительные систематические ошибки в наблюдения и ухудшает точность определения параметров. Приведены разработанная автором методика учета рельефа Марса, Венеры, Меркурия и дана предварительная гипсометрическая карта экваториальной области Меркурия.

Глава III "Теория движения больших планет и Луны - EPM." Излагается современное состояние теорий планетных эфемерид, описывается математическая модель, развитая для построенной нами долгосрочной численной теории больших планет и Луны (EPM), обсуждаются параметры, определяемые из радиолокационных наблюдений и выводятся условные уравнения. Построенная численная теория EPM сравнивается с другими теориями.

Глава IV "Определение астрономических постоянных." Приведены результаты уточнения астрономических постоянных, полученных из обработки радиолокационных наблюдений: оценка векового изменения гравитационной постоянной ($\dot{G}/G$), релятивистских параметров, сжатия Солнца; а также даны значения параметров вращения Марса из обработки наблюдений посадочных аппаратов VIKING (положение и движение оси вращения, период вращения, постоянная прецессии Марса).

В заключении перечислены основные результаты работы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Значение радиолокационных наблюдений в астрономии обусловлено двумя факторами. Во-первых добавилось два новых вида измерений: измерение времени запаздывания, которое через скорость света связано с расстоянием, и измерение допплеровского смещения частоты, дающего относительную радиальную скорость отражающей поверхности. Во-вторых, радиолокационные измерения имеют высокую точность. В настоящее время относительная точность 10^{-10} в измерениях запаздывания стала обычной, что на три порядка превосходит точность классических оптических измерений.

По своей природе радиолокационные наблюдения позволяют получить точные значения параметров, характеризуюших размеры, формы и взаимные ориентации орбит лоцируемых объектов и поэтому широко применяются при построении как аналитических (например, /1,2/), так и численных теорий. Главной целью данной работы, начатой в 1974 г., было использование радиолокационных наблюдений для уточнения орбит планет и построения на этой основе высокоточных эфемерид для обеспечения космических программ, проводимых у нас в стране. Эта задача была успешно решена созданием единой релятивистской теории движения планет, одним из источников которой была численная теория движения планет EPM, в построении которой автор принимал непосредственное участие.

Радиолокационные наблюдения при сопоставлении их с высокоточной теорией движения планет позволяют определять характеристики среды (например, характеристики плазмы солнечной короны) и проверять различные теории тяготения. Так, в 1967 г. была осуществлена экспериментальная проверка эффекта Шапиро (релятивистское запаздывание радиосигналов вблизи Солнца) с неопределенностью в 20%. После уточнения теории EPM и более точной редукции радиолокационных наблюдений (учет солнечной короны, топографии поверхностей планет) удалось добиться хорошей согласованности теории с наблюдениями (доли километра). Это позволило определить с высокой точностью значения некоторых астрономических постоянных. В их число входят: радиусы планет, астрономическая единица, сжатие Солнца, значения релятивистских параметров. Кроме того, так как ряд точных радиолокационных наблюдений охватывает интервал в 30 лет, то удалось показать, что вековое изменение гравитационной постоянной не превосходит 10^{-11} в год.

1.Радиолокационные наблюдения и особенности их обработки

Систематические радиолокационные наблюдения планет начались в 1964г. и проводятся на пяти станциях: Arecibo-AIO, Haystack-MIT, Millstone-MIT, Goldstone-JPL и Крым-ИРЭ. После 1967г. публикации американских наблюдений прекратились, поэтому особенно важное значение приобрели наблюдения, которые регулярно проводились с 1964г. по 1988г. в Институте Радиоэлектроники АН СССР (ИРЭ) в Крыму.

Априорная точность первых наблюдений времени запаздывания (τ) составляла 200 мкс (1 мкс соответствует 150 м), точность наблюдений 1964-1969г.г. стала выше (30 мкс), а более поздние наблюдения имеют ошибку в несколько микросекунд и меньше. Было собрано более 10 тысяч советских и американских измерений времени запаздывания Меркурия, Венеры и Марса за 1961-1992 гг., которые были использованы для построения теории движения планет EPM и определения астрономических постоянных. Наблюдения, выполненные в течение суток (после внесения всех необходимых коррекций, в том числе за топографию планеты), объединялись в нормальные места. При объединении всем измерениям приписывался вес согласно их априорной точности, приводимой, как правило, в публикациях.

Для того, чтобы полностью реализовать высокую точность радиолокационных наблюдений необходимы адекватная математическая модель движения планет и точное вычисление теоретических значений наблюдаемых величин с учетом всех необходимых редукций. Положение станции в инерциальной системе координат вычислялось стандартным образом с учетом прецессии, нутации, движения полюса и вариации всемирного времени. Для удобства обработки радиолокационных наблюдений была написана программа ВРЕМЯ, обеспечивающая переходы между шестью используемыми для наблюдений шкалами времени: $UT1$, $UT2$, UTC, WWV, TAI, $TDT(TT)$, при этом используются данные Международного Бюро Времени (с 1988 г. IERS), собранные с 1961 г. и ежемесячно пополняемые.

В работе рассматриваются все необходимые для радиолокационных наблюдений редукции:

1. Релятивистские эффекты: запаздывание радиосигнала около Солнца (эффект Шапиро) и переход от координатного времени, аргумента эфемерид к собственному времени наблюдателя.

2. Запаздывание радиосигналов в тропосфере Земли (атмосферная задержка вычисляется по модели Маррея).

3. Запаздывание радиосигналов в плазме солнечной короны для радиолокационных наблюдений, проводимых вблизи верхних соединений планет. Для модели распределения плотности:

$$N_e(r) = \frac{A}{r^6} + \frac{B}{r^2}$$

получено аналитическое выражение запаздывания радиосигнала в плазме солнечной короны, причем параметры короны (A и B) определены по наблюдениям космического аппарата MARINER-9 и радиолокационным наблюдениям планет.

4. Влияние рельефа лоцируемых планет. Планеты земной группы имеют сложную поверхность с большим перепадом высот. Так у Марса он достигает 30 км, у Венеры 20 км и у Меркурия составляет 6 км. Пренебрежение рельефом лоцируемых планет вносит значительные систематические ошибки, вызывает большую (до 100 мкс) шумовую составляющую времен запаздывания и, как следствие, ухудшает точность определения параметров. Автором была разработана методика учета топографии планет /4, 9, 11/. В настоящее время в результате проведения программ специальных альтиметрических измерений с участием искусственных спутников планет (MARINER-9, PIONEER-VENUS, ВЕНЕРА-15, ВЕНЕРА-16) и использованием разнообразных наблюдений с Земли топография Марса и Венеры достаточно хорошо изучена. В работе реализованы два метода учета топографии Венеры и Марса: с помощью разложений по сферическим гармоникам 16-18 порядка и гипсометрическим картам этих планет, результаты при этом получились достаточно согласованными. Каждому методу присущи свои недостатки: точность в первом ограничена величиной ячейки сетки; во втором даже по гармоникам 16-18 степени не удается учесть быстрое локальное изменение высот, например, в районе гор Олимпии на Марсе. Используется сочетание этих способов: в основном рельеф планет учитывается по разложениям, но для некоторых отдельных областей высоты определяются по гипсометрической карте этих мест с более мелкой сеткой. Для Меркурия глобальная топография неизвестна, хотя в последние годы появились сообщения о работах по радиолокационной альтиметрии этой пла-

неты. Нами для редукции за топографию Меркурия по радиолокационным наблюдениям этой планеты была построена предварительная гипсометрическая карта экваториальной области Меркурия ($|\varphi| < 12^o$). Такая карта лишь приблизительно описывает рельеф. Тем не менее, она позволила улучшить обработку наблюдений. Используя эту карту, все наблюдения можно разбить на несколько групп, относящимся к поверхностям с разными уровнями. Было выделено три области A, B и C. B - наиболее пониженные местности, C - возвышенности, а A - промежуточные участки. При улучшении, наряду с другими параметрами, были определены и средние радиусы этих областей (в километрах):

$$R_A = 2438.18 \pm 0.48,\ R_B = 2436.47 \pm 0.58,\ R_C = 2440.20 \pm 0.37.$$

После такого учета топографии Меркурия систематическая составляющая в остаточных невязках в значительной степени устраняется, среднее квадратичное отклонение остаточных невязок всех наблюдений Меркурия также уменьшается с 11 до 7 мкс.

2. Теория движения больших планет и Луны - EPM

Для построения численной теории движения больших планет высокой точности необходимо совместное численное интегрирование уравнений орбитального движения планет и Луны, а также уравнений вращения Земли и Луны. Совместное интегрирование 9 больших планет и Луны на временном интервале 1680-2015 гг. с шагом 1 сутки было выполнено методом Эверхарда одиннадцатого порядка, хорошо зарекомендовавшим себя при интегрировании орбит. Для уменьшения вычислительных ошибок интегрировались не непосредственно прямоугольные координаты, а отклонения от опорной эллиптической орбиты (метод Энке) со сменой эпохи оскуляции элементов промежуточной орбиты каждые 400 дней. При этом вычисление координат невозмущенного движения проводилось с удвоенной точностью, что обеспечивало для планет сохранение дополнительных 5-6 знаков. Контроль внутренней точности численной теории проводился сравнением результатов прямого и обратного интегрирования на интервале 150 лет, которое показало, что координаты планет совпадают, по меньшей мере, в четырнадцатом знаке (расхождения не превышали $0.''0002$). Максимальная ошибка в долготе (для Меркурия) может быть представлена зависимостью

$$\delta l = 0.''9 \cdot 10^{-5} T^2,$$

T - время в столетиях. Таким образом, внутренняя точность построенной численной теории EPM на несколько порядков превосходила точность необходимую для обработки как современных радиолокационных наблюдений, так и длительных рядов оптических наблюдений XVIII-XX вв.

Из обработки радиолокационных наблюдений находились все орбитальные параметры движения внутренних планет, за исключением трех углов, определяющих привязку к инерциальной системе координат. Осуществлялось совместное уравнивание всех радиолокационных наблюдений времен запаздывания. В основном варианте уточнялись значения 27 параметров: элементы орбит Меркурия, Венеры, Марса и Земли (за исключением трех параметров ориентации земной орбиты), поправки к поверхностям относимости Марса и Венеры, три радиуса разных по высоте районов Меркурия и астрономическая единица. Кроме того, оказалось необходимым ввести еще два неизвестных: постоянные сдвиги для двух групп наблюдений Венеры: в Крыму в 1969 г. и Голдстоуне в 1964 г., которые потом интерпретировались как систематические ошибки. Остаточные невязки подвергались статистической обработке, показавшей, что среднеквадратические ошибки этих невязок соответствует их априорной точности. Полученные поправки вводились в теорию и выполнялось новое интегрирование. Процесс повторялся несколько раз по мере накопления новых наблюдений.

При создании Дополнения 21-а к Астрономическому Ежегоднику, предназначенному для использования в космических экспериментах, проводилось сравнение на двадцатилетнем интервале 1980-2000 гг. всех независимых разработок, выполненных в ИПМ, ИРЭ и ЦУП, ИТА(ЕРМ), которое показало, что расхождения в геоцентрических расстояниях планет не превышают 5 км для Меркурия и Венеры и 15 км для Марса. Для последней версии ЕРМ /10/ сравнение с американской эфемеридой DE200, построенной по существенно иному наблюдательному материалу, было проведено на интервале 1875-2000 гг. Даже на таком значительном интервале разница в геоцентрических расстояниях внутренних планет не превышала 30 км, расхождение в разностях долгот не превышает $0.''008$ для Марса и еще меньше для Меркурия и Венеры, различие в узлах (которые определяются из радарных измерений с гораздо большей неопределенностью) не превосходило $0.''08$. Особенно большой интерес представляет сопоставление средних движений планет для разных теорий, что дает представление об их согласованности на больших интервалах времени. Синодические движения внутренних планет, контролируемые радиолокационными наблюдениями, согласуются в пределах $0.''04$ в столетие, а различие в сидерических движениях не превысило $0.''1$ в столетие, что гораздо лучше, чем можно было ожидать. Вероятно, это согласие объясняется близкой согласованностью значения астрономической единицы в обоих теориях.

$$AE_{EPM} = 149597870.62 \pm 0.18 \text{ [км]}$$

$$AE_{DE200} = 149597870.66 \pm 0.03 \text{ [км]}$$

3. Определение астрономических постоянных

3.1 Вековое изменения гравитационной постоянной

Высокоточные радиолокационные измерения, охватывающие временной интервал в тридцать лет, позволяют оценить постоянные планетной теории с большой точностью. Некоторые из этих постоянных представляют особый интерес, так как характеризуют фундаментальные свойства нашего физического пространства - времени. Была определена величина $\dot{G}/G$, она вычисляется из квадратичных по времени членов в долготах планет, и точность ее определения возрастает как квадрат временного интервала. Нахождение возможного векового изменения гравитационной постоянной исключительно важно, так как по существу проверяется сильный принцип эквивалентности. Изменение гравитационной постоянной может быть определено как из обработки всех радиолокационных измерений, так и отдельно по разностям долгот $l_i - l_3$ (где i - номер планеты). В соответствии с этим можно получить три значения $\dot{G}/G$ из радиолокационных наблюдений Меркурия, Венеры, Марса и сопоставить результаты. Вычисления, проведенные как по нашей теории EPM, так и для теории DE200, показали, что результаты практически не зависят от теории, но зависят от временного интервала, покрываемого наблюдениями высокой точности. Как показало сравнение с оценками из наших прежних работ /6,7,8/, точность определения величины $\dot{G}/G$ из всего набора наблюдений выросла в 2.5 раза, в то время как а из радиолокационных наблюдений Меркурия - на порядок за счет увеличения количества наблюдений и более точной их обработки, в частности учета топографии поверхности этой планеты.

$$\dot{G}/G_{Mer} = (0.47 \pm 0.47) \cdot 10^{-11} \text{ в год}$$
$$\dot{G}/G_{total} = (0.28 \pm 0.32) \cdot 10^{-11} \text{ в год}$$

Вообще, Меркурий, как самая близкая к Солнцу и быстро движущаяся планета, является наиболее удобным естественным телом в Солнечной системе для проверки тонких гравитационных эффектов. Результаты, полученные по наблюдениям Венеры и Марса, несколько отличаются, хотя и не выходят за пределы 3σ. Возможно, это связано с недостаточно точным учетом топографии планет, влияния пояса астероидов или же наличием систематических ошибок в ранних радарных наблюдениях. Во всяком случае, можно сказать, что отклонение $\dot{G}/G$ от нуля, выведенное как из наблюдений каждой отдельной планеты, так и из совместного решения, является статистически незначащим. Согласно Кануто, это означает, что вековое расхождение атомной и динамической шкал времени не превышает 10^{-11} в год (3σ).

3.2 Релятивистские параметры и сжатие Солнца

Достигнутая высокая точность согласования радиолокационных наблюдений с теорией позволяет по имеющемуся тридцатилетнему ряду этих наблюдений попытаться проверить не только классический эффект релятивистского движения перигелия Меркурия, но и релятивистские эффекты, связанные с распространением света, а также оценить суммарное влияние периодических релятивистских членов в планетных возмущениях.

Наиболее заметно релятивистские члены проявляются в вековом движении перигелия Меркурия. Представляет определенный интерес проверить величину этих эффектов в движении других планет. С этой целью были проведены обработка радиолокационных наблюдений и уточнение орбит планет без наблюдений Меркурия по трем теориям: EPM(1985), DE200 и численной ньютоновской теории - ЧНТ. Общее представление наблюдений для релятивистских теорий было заметно лучше. Пользуясь критерием Фишера было найдено, что различия между релятивистскими и ньютоновской теорией являются значимыми /6/. Эти результаты показывают, что ньютоновская теория плохо представляет радиолокационные наблюдения даже Венеры и Марса; и действительная проблема состоит в поиске небольших отличий в значениях параметров, предсказываемых общей теорией относительности.

Наиболее последовательная методика - это одновременное определение поправок к вековым движениям перигелиев всех внутренних планет $d\dot{\pi}_i$ ($i = 1, 2, 3, 4$ - планеты). Вследствие сильной корреляции поправок $d\pi_i$ и $d\dot{\pi}_i$ ($i > 1$) приходится пока ограничиваться уточнением движения перигелия Меркурия. Точность определения $d\dot{\pi}_1$ с 1985 г. из /6/ увеличилась в 2 раза и достигла $0.''05$ в столетие /9,11/.

$$\Delta\dot{\pi}_1 = (-0.''017 \pm 0.''052) \text{ в столетие.}$$

Была также получена новая оценка линейной комбинации параметров постньютоновского формализма: $(2 + 2\gamma - \beta)/3$, которая оказалась в хорошем согласии с ОТО.

$$(2 + 2\gamma - \beta)/3 = 0.9995 \pm 0.0013.$$

Точность определения $(2+2\gamma-\beta)/3$ соответствует точности лучших зарубежных определений. Комбинируя полученный нами результат для $(2+2\gamma-\beta)/3$ с определением γ, сделанным в 1991г. Робертсоном из анализа гравитационного отклонения Солнцем излучения квазаров с использованием VLBI ($\gamma = 1.0002 \pm 0.00096$), получаем оценку для параметра β:

$$\beta = 1.0019 \pm 0.0043.$$

Вековое движение перигелия Меркурия зависит от линейной комбинации параметров β, γ и квадрупольного момента Солнца (J_2)

$$\dot{\pi}_1 = 42.''95[(2+2\gamma-\beta)/3 + 0.296 J_2 \cdot 10^4].$$

Можно оценить J_2, взяв полученные нами поправки к движению перигелия Меркурия и считая $(2+2\gamma-\beta)/3 = 1$, что соответствует нашим результатам. Из полученной оценки

$$J_2 = (-0.13 \pm 0.41) \cdot 10^{-6}$$

вытекает, что заметное сжатие Солнца отсутствует.

3.3 Уточнение элементов вращения Марса по наблюдениям посадочных аппаратов VIKING

Наблюдения посадочных аппаратов на других планетах позволяют не только уточнять орбиты этих планет и Луны, но и изучать динамику прецессионно - нутационного движения оси вращения планет, что представляет большой интерес для исследования их геофизики.

В 1976-1982 г.г. в Лаборатории реактивного движения (США) были получены 2462 измерения времени запаздывания (τ) посадочных аппаратов на Марсе VIKING. Эти наблюдения до сих пор остаются наиболее точными среди радиолокационных наблюдений больших планет. При априорной точности 0.04 мкс реальная точность наблюдений весьма различна, что учитывалось введением весов.

При вычислении положений посадочных аппаратов VIKING использовалась теория вращения Марса, при этом принималась во внимание не только прецессия, но и солнечная нутация. Были уточнены координаты посадочных аппаратов, скорость вращения Марса (V), параметры, определяющие ориентацию оси вращения Марса (I_q,Ω_q) и их вековые вариации /12/:

$$V = 350.89198959 \pm 0.00000038 \quad \text{(град/сутки)}$$
$$I_q = 25.190221 \pm 0.000185 \quad \text{(град)}$$
$$\dot{I}_q = 0.01015 \pm 0.00803 \quad \text{(град/столетие)}$$
$$\Omega_q = 35.324615 \pm 0.000375 \quad \text{(град)}$$
$$\dot{\Omega}_q = 0.1024 \pm 0.0136 \quad \text{(град/столетие)}$$

Угловая скорость V соответствует следующему значению периода вращения Марса:

$$P = 24^h 37^m 22^s.661911 \pm 0^s.000004.$$

Из определения параметра $\dot{\Omega}_q$ можно оценить величину прецессии Марса :

$$p = (-1034'' \pm 49'') \text{ в столетие.}$$

Это значение получено при одновременном уточнении параметров Ω_q и $\dot{\Omega}_q$, коррелирующих между собой. Если уточнять только $\dot{\Omega}_q$, то получим оценку $(-750'' \pm 36'')$ в столетие, близкую к теоретической. Наличие в наблюдениях систематических ошибок не позволило полностью реализовать их высокую априорную точность и определить главные члены нутации.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ, ВЫНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ

1. Собран банк данных радиолокационных наблюдений больших планет (более 10 тысяч) за 1961 - 1992 гг. и составлены их нормальные места, представляющие наблюдения в сжатой форме, удобной для дальнейшего использования.

2. Получено аналитическое выражение для запаздывания радиосигналов в плазме солнечной короны и определены параметры модели распределения плотности в ней.

3. Разработана методика учета топографии Венеры, Марса и Меркурия, существенно повышающая точность определения астрономических параметров из радиолокационных наблюдений планет.

4. Из обработки радиолокационных наблюдений определены с высокой точностью элементы внутренних планет, характеризующие размеры, форму и взаимные положения орбит планет, послужившие основой для создания долгосрочной численной теории движения больших планет и Луны - EPM.

5. По радиолокационным наблюдениям получена оценка векового изменения гравитационной постоянной:

$$\dot{G}/G = (0.28 \pm 0.32) \cdot 10^{-11} \text{ в год.}$$

6. Проведена экспериментальная проверка релятивистских эффектов ОТО, определены поправки к движению перигелия Меркурия и линейная комбинация параметров постньютоновского формализма:

$$\Delta\dot{\pi}_1 = (-0.''017 \pm 0.''052) \text{ в столетие,}$$

$$(2 + 2\gamma - \beta)/3 = 0.9995 \pm 0.0013.$$

7. Из наблюдений посадочных аппаратов на Марсе VIKING уточнены параметры, характеризующие положение и движение оси вращения Марса.

ПЕЧАТНЫЕ РАБОТЫ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Аналитическая теория движения внутренних планет АТ-1 и ее использование для решения задач эфемеридной астрономии. - Труды ИТА, XVII, 46-53, 1978. (Соавторы: Красинский Г.А., Свешников М.Л., Свешникова Е.С.);

2. Использование радиолокационных наблюдений для уточнения элементов орбиты Меркурия. - Бюлл. ИТА, 14, N 7, 421-425, 1979;

3. Некоторые результаты обработки радиолокационних, лазерных и оптических наблюдений внутренних планет и Луны. - ДАН СССР, 261, N 6, 1320-1324, 1981. (Соавторы: Красинский Г.А., Свешников М.Л., Свешникова Е.С.);

4. Учет топографии Марса и Венеры при обработке радиолокационных наблюдений. - Бюлл. ИТА, 15, N 3, 169-175, 1982;

5. Уточнение эфемерид внутренних планет и Луны по радиолокационным, лазерным и меридианным измерениям 1961-1980 гг. - Бюлл. ИТА, 15, N 3, 169-175, 1982. (Соавторы: Красинский Г.А., Свешников М.Л., Свешникова Е.С.);

6. Экспериментальное определение релятивистских эффектов по радиолокационным наблюдениям внутренних планет. - Бюлл. ИТА, 15, N 9, 538-543, 1985;

7. Relativistic effects from planetary and lunar observations of the XVIII-XX centuries. - IAU Symp. N 114, Leningrad, 315-328, 1986. (Соавторы: Krasinsky G.A., Aleshkina E.Yu., Sveshnikov M.L.);

8. Экспериментальная проверка релятивистских эффектов и оценка величины изменения гравитационной постоянной по наблюдениям внутренних планет и Луны. - Успехи физических наук, 15, N 4, 720-724, 1987.(Соавторы: Алешкина Е.Ю., Красинский Г.А., Свешников

М.Л.);
9. Экспериментальная проверка релятивистских эффектов, оценка величины изменения гравитационной постоянной и топография поверхности Меркурия из радиолокационных наблюдений 1964-1989. - Препринт ИПА РАН, 39, 15с., 1992;
10. The motion of major planets from observations 1769-1988 and some astronomical constants. - Celest.Mech., 55, 1-23, 1993. (Соавторы: Krasinsky G.A., Sveshnikov M.L., Chunajeva L.I.);
11. Experimental testing of relativistic effects, variability of the gravitational constant and topography of Mercury surface from radar observations 1964-1989. - Celest.Mech., 55, 333-321, 1993;
12. Изучение динамики Марса из анализа радиолокационных наблюдений посадочных аппаратов VIKING. - Программа и тезисы докладов конференции "Теоретическая, прикладная и вычислительная небесная механика" ИТА РАН, Санкт-Петербург, с.95, 1993.

РТП ЛИЯФ,зак.236,тир.100,уч.-изд.л.1,0;5/V-1994г.
Бесплатно