

Получение новых знаний о Солнечной системе методами небесной механики

Н.В. Емельянов

Государственный астрономический институт имени П.К. Штернберга
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова (Москва, Россия)

Предлагаемая статья представляет собой обзор методов современной небесной механики и отражает авторскую концепцию процесса практического изучения природы.

Ключевые слова: Небесная механика, Солнечная система, астрономические наблюдения.

Введение

Прежде всего, хорошо было бы установить критерии ценности тех или иных знаний. Критерии ценности знаний вообще – это сложный философский вопрос. Здесь мы рассмотрим только частный случай – реакцию разных людей на новые сведения о Солнечной системе. Автору данной статьи приходилось наблюдать такие реакции и учитывать их при публичных выступлениях.

Критерий ценности знаний зависит от возраста человека, а также от его отношения к науке. Здоровые дети дошкольного возраста и школьники младших классов имеют ярко выраженный критерий: весело или невесело. Они сразу пойдут туда, где весело – это хорошо, и не пойдут туда, где скучно, – это плохо. Школьники старших классов и студенты младших курсов, интересующиеся астрономией, стремятся к тому, что интересно. Если не интересно – это плохо, они туда не пойдут. Где интересно, там хорошо.

В данной статье автор проходит дальше этого этапа. Даже студенты, начиная с четвертого или пятого курса, начинают задумываться: а это полезно кому-то или бесполезно, нужно или не нужно, и кому это нужно? В первую очередь они смотрят: им самим это полезно или нет? Имея определенные знания, могут ли они в будущем рассчитывать на большую зарплату? И это правильные вопросы. К этому критерию: полезно или бесполезно, мы рано или поздно приходим.

Хотя смена критерия сугубо индивидуальна, автор чаще всего наблюдал это именно у школьников в четвертом классе и у студентов на четвертом курсе. Настоящая статья учитывает такой критерий, как интересно – неинтересно, но в большей степени критерий: полезно – бесполезно.

Именно в зрелом научном возрасте исследователи начинают задавать вопросы: а зачем все это надо, полезно это или бесполезно. В конечном итоге исследований мы приходим к этим вопросам.

Новые знания о Солнечной системе получают методами небесной механики. Что из этого полезно, а что просто интересно? Хорошо бы это знать при выступлении с докладами на публике и при написании статей.

Итак, зачем нужно изучать Солнечную систему? Можно обозначить три цели.

Первая - проявление любопытства. Это заложенная в нас природой потребность, и ее нужно удовлетворять.

Вторая – расширение среды обитания. Европейцы в поисках рынков сбыта поплыли на запад, надеясь попасть в Индию. Однако натолкнулись на Америку. Это было неизбежно: она там была и никуда деться не могла. В Солнечной системе есть специфика. Если сейчас попытаться полететь, например, на Марс, то в каком направлении лететь? Ясно, что не в сторону этой видимой на небе планеты. Лететь туда долго. Пока будем лететь, она уже

будет совсем не там. Значит, нужно уметь рассчитывать движение планет в Солнечной системе.

Итак, будем расширять нашу среду обитания. Известно, что из-за сильной космической радиации пилотируемые межпланетные полеты пока невозможны. Не беда. Главное – извлекать пользу. Наши космические посланники – автоматические космические аппараты – уже снуют повсюду в Солнечной системе. На движение аппаратов действует притяжение тел Солнечной системы. Нужно знать их расположение. В какой науке искать ответ на этот вопрос? Ясно, в небесной механике.

Третья – защита от опасностей со стороны природы. К примеру, опасную молнию люди так интенсивно изучали, что это привело к появлению телевизоров и смартфонов. Опасные астероиды нужно изучать, но также нужно следить и за старыми искусственными спутниками. Падают эти спутники куда попало. А упавший когда-то очень давно на северном американском континенте астероид вообще оставил воронку диаметром 200 километров. Такое на Земле может повториться. Это нужно изучать. На движение опасных астероидов действует притяжение других тел Солнечной системы. Опять-таки нужно знать их расположение в любой момент времени. К какой науке для этого обратиться? Ясно, к небесной механике.

Перед изложением статьи важно установить, что является предметом рассмотрения. Из названия статьи следует, что рассматриваются тела Солнечной системы. Поэтому ниже в специальном параграфе дается классификация тел и их краткое описание.

Очень важно понять методы, которыми действуют исследователи в небесной механике. Этому посвящен ниже отдельный параграф.

Все данные и любая информация приходят к нам из результатов наблюдений. Никакая новая теория сама по себе не несет нам новой информации. Источником новых данных являются только наблюдения. Однако именно методы позволяют извлекать данные из наблюдений. Польза наступает только от методов, специально направленных на извлечение информации.

Лишь тогда есть толк в теории, когда она представляет собой не только абстрактные конструкции в воображении очарованного теоретика, а хорошо отлаженные процедуры, исправно служащие целям практического познания природы.

Чтобы было интересно, а не только полезно, мы рассмотрим также некоторые загадки, возникавшие при изучении Солнечной системы.

Состав и размеры Солнечной системы

Объектом нашего рассмотрения является Солнечная система. Рассмотрим, из чего она состоит.

Прежде всего само **Солнце**. Это почти шаровой огненный шар радиусом 700 000 километров.

Размеры Солнечной системы весьма условны и зависят от того, что считать его границами. Полной ясности в этом вопросе нет.

Все, что находится в Солнечной системе, называют ее телами. Рассмотрим тела Солнечной системы.

Мы видим, что есть **планеты**. К ним относят восемь тел. Все они движутся по орбитам вокруг Солнца. Орбиты эти почти круговые и расположены примерно в одной плоскости.

Для определения размеров орбит в Солнечной системе придумали более удобную единицу, чем привычный километр. За единицу приняли некоторое среднее расстояние Земли от Солнца. Назвали эту единицу астрономической. Обозначают ее а.е. Примерно астрономическая единица равна 150 млн км. Поскольку почти круговая траектория Земли при более точном рассмотрении довольно сложна, то размер астрономической единицы в километрах выбран условно, но зафиксирован. Впрочем, в разных теориях берут немного различающиеся значения.

Самая малая орбита у Меркурия. Ее радиус примерно равен 0.4 а.е. Самая большая орбита у Нептуна – 30 а.е.

Размеры самих планет весьма различные. Радиус самой малой из планет, Меркурия, равен примерно 2400 км. Самая большая из планет, Юпитер, имеет радиус 70000 км.

Кроме планет в Солнечной системе есть карликовые планеты. Они мельче планет, летают за орбитой Нептуна. Плоскости орбит карликовых планет весьма различны. Самый далекий объект обнаружен на расстоянии 97 а.е. Это карликовая планета Эрида радиусом 1400 км. Число карликовых планет уже достигает нескольких сотен. Время от времени открывают новые карликовые планеты. Поскольку это весьма удаленные объекты, то открытие новых карликов зависит от прогресса в увеличении мощности телескопов.

Астероиды. В Солнечной системе очень много астероидов. Эти небесные тела называют еще малыми планетами. Число астероидов с найденными из наблюдений орбитами уже приближается к миллиону. Большинство астероидов расположено между орбитами Марса и Юпитера. Это так называемый главный пояс астероидов. Наклоны орбит астероидов в главном поясе по отношению орбите Юпитера различные. Эксцентриситеты орбит имеют всякие значения в пределах от 0 до единицы. Часть астероидов движется повсюду в Солнечной системе.

Размеры астероидов тоже весьма разнообразны. Радиусы этих тел в основном не более 500 км. Однако некоторые астероиды, движущиеся за орбитой Нептуна, имеют радиусы до 1000 км. Таких «транснептуновых» астероидов кентавров насчитывается более тысячи. При разнообразии свойств естественно вводится некоторая классификация астероидов.

Особую группу составляют астероиды, сближающиеся с Землей. Таких астероидов известно уже несколько сотен. Именно эти астероиды могут представлять опасность для жизни на Земле. Их движение изучается особенно интенсивно.

Кометы. Особую группу малых тел, движущихся вокруг Солнца, составляют кометы. Их насчитывается немного более 5000. Орбиты комет сильно вытянутые. Они могут прилетать из далеких окраин Солнечной системы. При приближении к Солнцу кометы разогреваются. При этом частицы вещества комет разлетаются во все стороны, образуя гигантский хвост. Частицы хвоста подвержены световому давлению от Солнца.

Постоянно открываются все новые кометы.

Изучение орбитальной динамики комет затруднено тем обстоятельством, что основная часть массы кометы заключена в ее ядре, а установить точное положение кометы на небе весьма затруднительно из-за окружающего ядро огромного хвоста. Именно движение массивного ядра моделируется в небесной механике.

Спутники. Все рассмотренные выше тела Солнечной системы движутся по своим орбитам вокруг Солнца. Однако имеются еще спутники планет, которые сопровождают их в этом движении. Двигаясь вместе с планетой вокруг Солнца, спутник движется по своей орбите вокруг планеты. Спутники известны у всех планет, кроме Меркурия и Венеры. Спутники имеются и у некоторых астероидов. К настоящему времени известны около 450 спутников астероидов. Правда, про большинство спутников астероидов известно только то, что они есть. Орбиты определены из наблюдений только для 70 спутников астероидов.

Спутники планет условно разделяют на три группы: главные, близкие и далекие. К настоящему времени определены орбиты 209 спутников планет. Первые спутники планеты, четыре главных спутника Юпитера, открыл Галилей в 1610 году.

Силы взаимодействия в Солнечной системе

В Солнечной системе доминируют гравитационные силы взаимодействия тел. Действуют также силы светового давления от Солнца, которые нужно учитывать при описании

динамики хвостов комет. Силы негравитационной природы (эффект Ярковского и другие) определяют эволюцию орбит астероидов.

При решении большинства практических задач динамики Солнечной системы принимается ньютоновский закон гравитационного взаимодействия. Однако точность современных астрометрических наблюдений позволяет обнаружить в движении небесных тел отличия от ньютоновского закона. Решение уравнений движения в общей теории относительности оказывается чрезвычайно сложным. В небесной механике придумали специальный прием, позволяющий упростить задачу. Построены модели некоторой сверхестественной по отношению к ньютоновой механике действующей силы так, что учет влияния этой фиктивной силы в рамках ньютоновой механики дает такой же эффект, как и точный учет общей теории относительности. Так привычная теория возмущений, разработанная в рамках ньютоновой механики, позволяет учесть так называемые релятивистские эффекты. Такой метод хорошо работает и широко применяется в практических задачах небесной механики.

Задачи и методы небесной механики

Основы современной небесной механики были заложены французскими учеными Лагранжем и Лапласом. В Париже в 1795 году был создан институт, который до 1998 года назывался «Бюро долгот». Задачи для института с самого начала и до сих пор ставит непосредственно государство. Это настоящий «государственный» институт. Основной его целью является вычисление эфемерид небесных тел для навигации и геодезии. Эти задачи во все времена были актуальны и решаются с помощью небесной механики. Понятие эфемерид расшифровывается здесь ниже. Однако Лагранжа и Лапласа интересовала больше задача об устойчивости Солнечной системы. Эта задача до сих пор так и не решена. Единственно, что удалось, так это Лаплас сумел доказать, что если Солнечная система и распадается, то очень, очень медленно.

Но Лагранж также много сделал для вычисления эфемерид. Основные уравнения, которые и сейчас решаются для вычисления эфемерид небесных тел, называются уравнениями Лагранжа. Имена Лагранжа и Лапласа красуются на Эйфелевой башне. Это гордость Франции.

Основной метод, который используется для изучения динамики Солнечной системы, это создание модели движения. С одной стороны, модель движения всегда «под рукой». Это формулы в книгах и статьях, это вычислительные программы в компьютерах. Это все можно прямо использовать для разных целей. С другой стороны, модель должна наилучшим образом соответствовать реальному движению небесных тел. Тогда использование модели будет единственной возможностью изучать реальную динамику небесных тел на этой модели. Другой возможности просто нет.

Реальное движение представлено нам результатами наблюдений. А модель позволяет вычислять положение небесного тела на небе или в пространстве на любой момент времени. Такие положения издревле называют эфемеридами. Теперь это синоним модели движения.

Соответствие модели реальному движению достигается непросто. Для этого служит целый ряд методов. В частности, понятие «соответствия наилучшим образом» реализуется неоднозначно. Одна из возможностей – это применение метода наименьших квадратов. Для достижения соответствия сначала уточняют орбитальные параметры. Если несоответствие остается большим, чем ошибки наблюдений, то пытаются уточнить массы тел. Если и это не приводит к желаемому соответствию, то приходится выдвигать и проверять гипотезы о наличии других тел, которые ранее не были включены в рассмотрение.

Именно так случилось у француза У. Леверье в 1846 году, когда он пытался согласовать с наблюдениями модель движения Урана. У. Леверье выдвинул гипотезу о наличии ранее

неизвестной планеты. Он даже указал, где искать новую планету. Наблюдатели посмотрели туда и увидели новое светило, которое впоследствии назвали Нептуном. Таким образом, вычисление эфемерид позволило совершить открытие нового небесного тела.

В настоящее время вычисление эфемерид является весьма продуктивным методом изучения динамики тел Солнечной системы.

Законы взаимодействия небесных тел приводят нас к составлению дифференциальных уравнений. Их надо решать. Здесь существуют два подхода. Еще классики небесной механики знали, что кроме уравнений задачи двух тел для других уравнений общее точное решение неизвестно. Тогда решили искать хотя бы приближенное решение дифференциальных уравнений движения. Метод теории возмущений позволяет строить такое решение. Французский ученый Пуанкаре, основываясь на выводах математика Коши доказал, что при некоторых условиях решение можно найти с любой требуемой точностью. Проверять эти условия никто не стал. Просто получают решение и сравнивают его с наблюдениями. Если достигается необходимое согласование, то считают, что решение найдено. Это обеспечивают так называемые аналитические методы небесной механики. Для достижения необходимой точности получают громоздкие формулы и проводят вычисления по формулам. Благо, что формулы нужно вывести всего один раз. А работали эти формулы на очень больших интервалах времени. Так действовали вручную классики небесной механики. У них не было таких мощных компьютеров, какие имеют небесные механики сейчас.

Современная ситуация с построением модели движения сильно отличается от прежней. Во-первых, ученые стали прагматичнее. Стали строить модели движения на более коротких интервалах времени, рассчитывая сравнить модель с наблюдениями и поскорее использовать ее для практических нужд. Во-вторых, появились мощные электронные вычислительные машины. Эти обстоятельства привели к возможности решать дифференциальные уравнения движения методами численного интегрирования. Проблема осталась та, что точность этого решения теоретически определить невозможно. Остается сравнивать получаемую модель с наблюдениями. Однако применение таких «численных» методов оказалось значительно проще применения аналитических методов.

Наряду с аналитическими и численными методами в небесной механике продолжают использовать так называемые «качественные» методы, Это когда сама модель движения даже и не строится, однако по виду уравнений находят и изучают свойства движения, в частности устойчивость.

Во второй половине двадцатого века возникла новая задача небесной механики – межпланетная навигация. Чтобы космические аппараты хорошо летали в Солнечной системе и тратили поменьше топлива, нужно точно рассчитать положение планет и спутников. Это важная задача современной небесной механики. На этом пути встречаются неожиданные проблемы.

Вот одна из проблем. Нужно точно рассчитать положение Марса. На его движение влияют астероиды из главного пояса. Это недалеко от Марса. Чтобы учесть притяжение астероидов, нужно знать их массу. Откуда ее взять? Мы можем легко определить яркость светила. Знаем расстояние до него. Так можно найти абсолютную яркость. Чтобы добраться до массы, нужно принять две очень смелые гипотезы: чем «покрашен» астероид (альbedo) и из чего он сделан (плотность). Принятие таких гипотез приводит к определению массы с очень низкой точностью. Можно ошибиться в два раза.

Можно определять массу астероида по отклонениям пролетающего мимо космического аппарата. Однако это очень дорогой способ.

Для некоторых астероидов известно, что они имеют спутники. По наблюдениям спутников можно определить их орбиты. Знание орбиты спутника по законам небесной механики сразу дает нам точное значение массы. Однако из почти миллиона астероидов

только для 70 их спутников найдены орбиты. Для остальных астероидов массы неизвестны. Принимаются разные гипотезы, но проблема не решена.

Задача космической навигации совпала с вечной проблемой человечества – изучение ее среды обитания. Изучение динамики Солнечной системы является важной частью астрономии. Решается эта задача методами современной небесной механики на основе астрометрических наблюдений.

Методы наблюдений тел Солнечной системы

Как уже сказано выше, источником новых данных о Солнечной системе являются наблюдения. В процессе наблюдений мы не просто любуемся видом планет и комет. Мы измеряем координаты небесных тел. Раньше измеряли угловые координаты на земном небе. Теперь имеется возможность измерять направления и расстояния с космических аппаратов, летящих в межпланетном пространстве или посаженных на другие планеты. Итак, говоря «наблюдения», мы подразумеваем измерения. В работах на эту тему принято результаты наблюдений также называть наблюдениями.

Методы астрометрических наблюдений весьма разнообразны. В девятнадцатом веке астрономы глядели в телескоп и видели в окуляре, кроме самих небесных тел, еще и паутинные нити, которые можно было перемещать с помощью микрометрических винтов. Так измеряли взаимные угловые координаты разных небесных светил, а сами такие наблюдения так и называли «микрометрическими». Обороты и деления микрометрического винта переводили в разности угловых координат, измеряя их в секундах дуги. В двадцатом веке вместо глаза человека в фокус телескопа помещали фотопластинки. Делали экспозицию. Затем фотопластинку обрабатывали проявителем и закрепителем. Промытую и высушенную фотопластинку клали под микроскоп и измеряли взаимные координаты светил. Единицами измерений были миллиметры. Так что в двадцатом веке астрономы смотрели чаще в микроскоп, чем в телескоп.

В настоящем веке вместо фотопластинки в фокус телескопа ставят современные телекамеры, а изображения передают в компьютер. Там, в компьютере, специальные программы измеряют координаты светил. Единицами измерений являются пикселы. Затем координаты переводятся в угловые величины. В этом последнем непросто процесс используются согласующие параметры телескопа и камеры. Здесь появляются систематические ошибки. Понимается, что теперь астрономы чаще смотрят в компьютер, чем в телескоп.

Кроме угломерных измерений с помощью современных камер в настоящее время измеряют расстояния и лучевую скорость небесных тел. Для этого применяют как лазерные дальномеры, так и радиотехнические устройства (радиолокация).

Особая техника используется при радиоинтерферометрии со сверхдлинной базой (РСДБ). Так получают высокоточное направление на космический аппарат относительно наземных пунктов. Остается весьма сложная задача связи земной системы координат с небесной.

Во все времена угловые координаты тел Солнечной системы измерялись относительно звезд. Далее координаты переводились в систему, связанную с координатами звезд в звездном каталоге. До недавнего времени точность измерений на фотопластинках и в фотокамерах превосходила точность координат звезд в звездных каталогах. Точность астрометрии ограничивалась точностью звездных каталогов. Новая эра в астрометрии тел Солнечной системы настала с использованием звездного каталога, составленного по измерениям координат звезд, выполненным с помощью космического телескопа GAIA, установленного на искусственном спутнике Земли. Резкое повышение точности измерений произошло из-за отсутствия искажений в атмосфере Земли. С появлением звездного каталога GAIA ограничения точности координат звезд были сняты.

Источником всех знаний о Солнечной системе являются наблюдения. Никакие идеи или теории не могут быть источником знаний.

Понятно, что прогресс в наземных астрометрических наблюдениях зависит от прогресса в телескопостроении и электронике. Однако некоторые астрономы не стали ждать этого прогресса, а искали новых методов наблюдений.

Обнаружились интересные явления, которые, впрочем, происходили всегда. Орбиты главных спутников Юпитера, Сатурна и Урана лежат примерно в одной и той же плоскости. Эти плоскости раз в полоборота планеты вокруг Солнца пересекают линии планета-Земля и планета-Солнце. В такие эпохи орбиты сориентированы к Земле и к Солнцу ребром. Легко сообразить, что в эти эпохи в процессе орбитального движения спутников их изображения перекрываются. Происходят так называемые взаимные покрытия и затмения. При затмениях один спутник попадает в тень от другого. В процессе таких явлений суммарная яркость двух спутников изменяется, что легко фиксируется фотометрией. По кривой блеска спутников можно определить их взаимные координаты. Так из фотометрии получают астрометрические данные. Необходимая фотометрия может делаться достаточно скромными приборами. Это доступно даже любителям астрономии. Однако астрометрические данные получают путем сложного высокоточного вычислительного процесса.

Поскольку указанные явления довольно редки, то организуются международные кампании таких наблюдений. С 1993 года до сих пор кампании организуются французским институтом небесной механики и вычисления эфемерид (IMCCE). Обработка фотометрических результатов, то есть получение астрометрических данных, проводится с тех пор в отделе небесной механики ГАИШ МГУ Емельяновым Н. В. Каждая международная кампания дает несколько сотен взаимных положений пар спутников с точностью лучшей, чем дают обычные астрометрические наблюдения. В итоге фотометрические наблюдения спутников планет во время их взаимных покрытий и затмений представляют весьма ценный источник данных о спутниках планет.

Методы получения новых знаний о Солнечной системе. Основная концепция.

Для получения новых данных о Солнечной системе нужно сначала построить модель движения. Нужно добиться того, чтобы модель соответствовала наблюдениям. Модель движения – это процедура, позволяющая на любой заданный момент времени определить координаты небесного тела или получить значение величины, измеряемой в процессе наблюдений. Именно модель концентрирует все наши знания о Солнечной системе, включая все выполненные наблюдения. Она содержит наше умение определять состояние системы в прошлом и будущем.

Итак, идея заключается в следующем. Строим модель движения. Обеспечиваем ее максимальную близость к действительности, то есть к наблюдениям. Пользуемся моделью для решения научных и практических задач. Альтернативы нет. Мы вынуждены так поступать.

Планеты и спутники там где-то далеко. А модель здесь близко, в компьютере. Вот и будем запускать наши программы и получать новые данные.

Как же добываются новые данные с помощью модели? Прежде всего, многие параметры содержатся непосредственно в самой модели. Это массы тел, их размеры и некоторые другие их характеристики. Есть прецедент открытия новой планеты, как это случилось у Леверье в 1846 году (описано выше). Кроме того, модель непосредственно используется для тех целей, которые указаны во Введении.

Теперь видно, что именно модель движения тел Солнечной системы или эфемериды приносят ту пользу, о которой говорилось во Введении. Это и есть основная концепция автора для получения новых знаний о Солнечной системе.

Загадки в Солнечной системе

При исследованиях динамики Солнечной системы возникают загадки, которые разгадываются с помощью модели. Рассмотрим некоторые, наиболее яркие из них.

Известно, что Юпитер вращается быстрее, чем его массивный спутник Ио движется по своей орбите. Известная приливная волна в теле планеты опережает движение спутника и сообщает дополнительную энергию спутнику. Поэтому спутник Ио должен удаляться от Юпитера. Однако точные астрометрические измерения показывают противоположный эффект: спутник приближается к планете. Объяснение этой загадки впервые дал К. Акнес. Он предположил, что в теле спутника также происходят приливы. Они вызваны притяжением Юпитера. Тело спутника, почти постоянно ориентированное на планету, испытывает небольшие колебания, либрации, вызванные эксцентricностью орбиты Ио и притяжением другого спутника, Европы. В результате вязкоупругих деформаций спутник теряет больше механической энергии орбитального движения, чем он приобретает от приливов в теле Юпитера. В результате спутник падает на планету. Более точно приливные параметры Юпитера и спутника Ио были определены в работе Валери Леней.

Другая загадка возникла в движении спутника Сатурна Прометея. Этот спутник движется по краю кольца и скрывается от наблюдателей в его свете. Однако раз в 14 лет кольцо становится ребром к наземному наблюдателю. Тогда кольцо фактически исчезает для земного наблюдателя, а спутник виден. В один из таких периодов по наземным наблюдениям была определена орбита Прометея. Спустя 14 лет наблюдатели снова увидели спутник и получили орбиту. Оказалось, что спутник опоздал на 20 градусов по долготе вдоль орбиты. При этом угловая скорость его движения по орбите не изменилась. Были высказаны несколько гипотез этого эффекта. Самой правомерной оказалась гипотеза о существовании еще одного невидимого спутника на этой же орбите. Два спутника движутся по орбите синхронно по разные стороны от планеты. При неизменной частоте обращения спутники испытывают медленные периодические смещения вдоль орбиты. Это и было вызвало «опоздание» Прометея.

Интересны обстоятельства открытия далеких спутников вокруг больших планет. На грани XX и XXI веков были построены мощные телескопы высоко в горах. Назначением этих приборов было в основном обнаружение опасных для Земли астероидов. Однако иногда попытки определить гелиоцентрическую орбиту астероида приводили вместо этого к определению орбиты спутника планеты. Дальше эти спутники наблюдались мало.

Точность эфемерид обратно пропорциональна интервалу времени наблюдений, а интервалы эти для многих спутников совсем небольшие. Известно, что при отсутствии новых наблюдений точность эфемерид быстро деградирует. Поэтому для некоторых спутников оказалось, что точность определения их положения составляет пол оборота спутника вокруг планеты. Даже оказывается неизвестным, с какой стороны от планеты он находится. Значит, спутник можно считать потерянным, и его нужно искать и открывать заново. Таких спутников в настоящее время остается шесть штук.

Итак, видно, что раскрытие загадок с помощью модели также служит получению новых данных.

Заключение

Возвращаясь к основному вопросу о ценности знаний и средствах их получения, мы видим, что именно модели движения и эфемериды являются хорошо отлаженными процедурами, исправно служащими целям практического познания природы. Модели движения соответствуют объективной реальности, то есть наблюдениям. Именно наблюдения являются источником новых данных.

Gaining new knowledge about the Solar system with methods of celestial mechanics

N.V. Emelyanov

Sternberg State Astronomical Institute
Lomonosov Moscow State University
(Moscow, Russia)

The proposed article is a review of the methods of modern celestial mechanics and reflects the author's concept of the process of practical study of the nature.

Keywords: Celestial mechanics, Solar system, astronomical observations.