

Как работать с программами

Пакет моделирующих компьютерных программ ДВИЖЕНИЕ КОСМИЧЕСКИХ ТЕЛ разработан для операционного окружения Microsoft Windows. Все действия по управлению работой программ используют средства графического интерфейса этой операционной системы. Рекомендуется использовать графический режим высокого разрешения (не ниже 800 × 600). Движение моделируемых систем отображается в окнах, положение и размер которых можно изменять обычными средствами, например, перетаскивая мышью.

Для получения дополнительной информации по управлению работой отдельных программ пакета смотрите следующие разделы:

Как работать с программой «Третий закон Кеплера».....	2
Как моделировать запуски спутников и баллистических снарядов	3
Как выполнять активные маневры.....	5
Как работать с программой «Планета со спутником».....	8
Как работать с программой «Двойная звезда с планетой».....	9
Как работать с программой «Система планет»	10
Как создавать новые примеры.....	13
Как распечатать орбиты и траектории	13

Ниже приведен краткий обзор основных действий по управлению программами, выполняемых при помощи командных кнопок и пунктов меню (общих для всех программ).

Строка меню в верхней части каждого окна содержит команды, которыми можно пользоваться для управления работой программы.

Командные кнопки, расположенные ниже строки меню, обеспечивают быстрый доступ к некоторым наиболее часто используемым командам. Однократное нажатие на кнопку обеспечивает выполнение соответствующей команды.

Полосы прокрутки с надписями «Ускорить» и «Замедлить» позволяют варьировать скорость анимации путем изменения временного масштаба, в котором производится моделирование движения.

Контекстное меню, всплывающее при нажатии правой кнопки мыши содержит ряд наиболее часто используемых команд.

Командные кнопки, общие для большинства программ, выполняют следующие действия:

Пуск, Пауза – команда начать моделирование, сделать паузу в моделировании, продолжить прерванное моделирование;

Рестарт – команда восстановить начальное состояние (начальные условия) для повторения моделирования;

Стереть (в программах, моделирующих орбитальные маневры и системы многих тел) – команда очистить окно (стереть старые траектории) и продолжить моделирование.

Пункты меню, общие для всех программ, выполняют следующие действия:

Файл:

Выход – команда закрыть все окна и прекратить выполнение программы;

Печать – команда открыть панель для настройки принтера и распечатки траекторий;

Ввод – команда открыть специальную панель ввода параметров моделируемой системы и начальных условий;

Условия моделирования:

Черное небо – изображать моделируемую систему на черном фоне, если поставлена «галочка», и на светлом фоне в противном случае;

Звезды на небе – показать «звезды» (условные), если поставлена «галочка»;

Теоретическая траектория – показать теоретически рассчитанную траекторию (или оскулирующую орбиту при моделировании возмущенного движения) перед началом моделирования (и при нажатии на кнопку «Пауза»), если поставлена «галочка»;

Яркая точка – показывать движущееся тело (спутник, планету) в виде маленького яркого кружка, если поставлена «галочка», и в виде цветного кружка с ободком в противном случае;

Траектории – чертить траектории (следы) движущихся тел (спутников, планет), если поставлена «галочка»;

Жирные следы – показывать траектории небесных тел жирными линиями, если поставлена «галочка»;

Метки времени – фиксировать положения движущихся тел на экране через определенные равные промежутки времени, если поставлена «галочка»;

Примеры – открыть панель с предложением выбрать пример для моделирования из наборов заранее заготовленных примеров;

Zoom – открыть дополнительное окно с увеличенным ("Zoom In") или уменьшенным ("Zoom Out") изображением моделируемой системы, или открыть дополнительное окно для изображения движения небесных тел в другой системе отсчета;

Закреть (в дополнительных окнах) – закрыть дополнительное окно и возвратиться в основное окно программы.

Для получения дополнительной информации о других органах управления, специфичных для отдельных программ пакета, вызывайте онлайн-контекстно-зависимую помощь непосредственно из соответствующей программы (пункт меню «Помощь»).

Получаемые в процессе моделирования орбиты и траектории можно распечатывать на принтере с более высоким, чем на экране, разрешением (с разрешением, которое допускает принтер). Необходимую информацию см. в разделе [«Как распечатать орбиты и траектории»](#).

Как работать с программой «Третий закон Кеплера»

Данная моделирующая программа предоставляет Вам несколько возможностей для экспериментальной проверки третьего закона Кеплера. В простейшем варианте используются только две орбиты, начинающиеся из одной точки с трансверсальной (перпендикулярной радиусу-вектору, т.е. направленной горизонтально начальной скоростью. Одна из этих орбит – круговая. Она служит удобными «часами» для измерения периода обращения по второй (произвольной эллиптической) орбите.

Единственный параметр, который нужно ввести для выполнения такого эксперимента, относится ко второй орбите. Пункт меню «Ввод данных» предлагает три возможности для выбора вводимой величины: это либо начальная скорость, либо большая полуось орбиты, либо период обращения. Любой из этих параметров эллиптической орбиты нужно выражать в единицах, характеризующих стандартную круговую орбиту, используемую для сравнения.

В начальной точке обе орбиты имеют общую касательную. Программа моделирует движение двух спутников, запущенных одновременно. Текущие показания таймера соответствуют числу оборотов, совершенных на данный момент спутником на круговой орбите. Иными словами, таймер показывает текущее время после запуска, измеренное в единицах периода обращения спутника на круговой орбите.

Моделирование движения автоматически останавливается в тот момент, когда спутник на эллиптической орбите завершает один оборот. Поэтому по показаниям таймера очень легко сравнить экспериментальные значения периодов обращения по двум рассматриваемым орбитам. Например, если для большой полуоси эллиптической орбиты ввести значение 4 (т.е. учетверенный ра-

диус круговой орбиты), период обращения по эллиптической орбите, в соответствии с третьим законом Кеплера, должен равняться 8 периодам обращения спутника по круговой орбите. Иными словами, за то время, пока спутник совершит один оборот по эллиптической орбите, спутник на круговой орбите должен совершить ровно 8 оборотов. В этот момент оба спутника одновременно возвращаются в начальную точку, т.е. начальная конфигурация системы воспроизводится через каждые 8 оборотов по круговой орбите.

Используя пункт меню «Условия моделирования», можно выбрать наиболее удобный способ представления результатов моделирования на экране компьютера. Выбрав опцию «Теоретическая кривая», Вы предписываете программе отобразить на экране предварительно рассчитанные орбиты обоих спутников. Моделирование выполняется в некотором временном масштабе, так что Вы можете легко наблюдать за изменениями скорости спутника на протяжении орбиты. Скорость моделирования (т.е. временной масштаб) можно изменять перемещением движка на соответствующей шкале. Выбор опции «Метки времени» вынуждает программу фиксировать положения спутника на эллиптической орбите каждый раз, когда спутник на круговой орбите завершает очередной виток. Благодаря этим меткам можно судить об изменениях скорости вдоль эллиптической орбиты даже по статичной картинке, которая остается на экране после завершения моделирования. О назначении других опций можно судить по их названиям.

Пункт меню «Орбиты» предлагает выполнить более изощренные эксперименты, связанные с третьим законом Кеплера. Выбирая опцию «Общая начальная точка», можно изучить свойства семейства эллиптических орбит, начинающихся в одной точке. По таким орбитам движутся спутники, которым в начальной точке сообщают различные по величине трансверсальные (перпендикулярные радиусу) начальные скорости. Для ввода параметров служит специальная панель. Можно вводить либо начальные скорости, либо большие полуоси, либо периоды обращения (в зависимости от выбранной опции) для нескольких орбит за один прием. Вводимые величины должны быть выражены в единицах, соответствующих стандартной круговой орбите. Затем можно наблюдать моделирование и измерять периоды обращения либо в условиях последовательных запусков (каждый раз запуская один спутник на эллиптическую орбиту одновременно со спутником на круговой), либо в условиях одновременного запуска всех спутников.

Первая из названных возможностей удобна для точных измерений периодов обращения: при выборе опции «Последовательные запуски» моделирование автоматически останавливается в тот момент, когда завершается один оборот по эллиптической орбите. Это позволяет без труда снять показания таймера. Вторая возможность (одновременный запуск) позволяет наблюдать в течение продолжительного времени за эволюцией конфигурации спутников.

Дополнительные возможности появляются при выборе в меню «Орбиты» пункта «Произвольные орбиты». В этом случае начальные положения спутников можно задавать произвольно. Можно задать одновременно несколько орбит с произвольными большими полуосями и эксцентриситетами.

Как моделировать запуски спутников и баллистических снарядов

Программа «Баллистические снаряды и спутники» позволяет изменять условия запусков спутников или баллистических снарядов, выбирая для их пассивного движения в гравитационном поле различные начальные положения и скорости, отличающиеся величиной и направлением. Можно заранее задать условия сразу для нескольких снарядов или спутников, и затем наблюдать за моделированием их движения при одновременном или последовательных запусках.

Подчеркнем, что в программе Вы указываете начальное положение и начальную скорость для этапа пассивного орбитального движения баллистического снаряда или спутника. Иначе говоря, задаваемое Вами начальное состояние соответствует моменту окончания активного участка движения. В этой точке ракетный двигатель выключается. Дальнейшее пассивное движение происходит только под действием силы земного тяготения и, возможно, еще и под действием силы сопротивления воздуха.

Все параметры задаются с помощью панели «Ввод», которая открывается при выборе соответствующего пункта меню. Чтобы задать начальное положение, нужно указать его высоту над поверх-

ностью Земли либо в километрах, либо в единицах радиуса Земли (в последнем случае нужно выбрать опцию «Естественные единицы» в рамке «Единицы»). Необходимо также указать угловое положение начальной точки (в градусах) по отношению к некоторой полярной оси, общей для всех запусков. Эта ось направлена вдоль большей стороны окна, в котором отображается моделируемое движение. Размеры и положение этого окна на экране можно изменять стандартными способами, например, перетаскивая его мышкой.

Величину начальной скорости можно вводить в км/с либо в единицах круговой скорости для выбранной начальной высоты (в «естественных» единицах). Направление начальной скорости нужно указывать в градусах угла, который скорость образует с местной вертикалью.

Чтобы моделировать движение снаряда, подверженного сопротивлению воздуха, нужно ввести дополнительные параметры, характеризующие атмосферу планеты, а также площадь поперечного сечения и массу космического аппарата или баллистического снаряда. Однако целесообразно начать работу с программой, изучая движение в тех случаях, когда сопротивление воздуха полностью отсутствует либо настолько мало, что им можно пренебречь.

В моделирующей программе предполагается, что сопротивление воздуха пропорционально локальной плотности воздуха в атмосфере и квадрату скорости аппарата, и направлено противоположно скорости. Предполагается, что плотность ρ воздуха экспоненциально убывает с высотой h над поверхностью планеты:

$$\rho(h) = \rho(0) \exp(-h/H),$$

где H – характеристическая высота, на которой плотность атмосферы в $e = 2,72$ раза меньше, чем у поверхности планеты. Такое выражение для зависимости плотности воздуха от высоты $\rho(h)$ приближенно выполняется, когда характеристическая высота H атмосферы много меньше радиуса R планеты.

Характеристическая высота атмосферы задается параметром H , величину которого можно изменять в широких пределах. Например, Вы можете задавать преувеличенно большие значения H для того, чтобы сделать влияние сопротивления воздуха более заметным, чем в реальных условиях. Такого рода моделирующие эксперименты помогут лучше понять роль сопротивления атмосферы для космических полетов вокруг Земли или других планет. Однако при моделировании запусков сразу нескольких баллистических снарядов и/или спутников в одном эксперименте, значение H должно быть одним и тем же для всех запусков.

Второй параметр, который нужно вводить при моделировании движения при наличии сопротивления воздуха – это безразмерный коэффициент, равный отношению ускорения (замедления), обусловленного сопротивлением воздуха при движении спутника в атмосфере на высоте $h = 0$ (вблизи поверхности Земли) со скоростью, равной круговой скорости для $h = 0$, к ускорению, создаваемому силой тяжести (к ускорению свободного падения). Этот безразмерный параметр зависит как от плотности атмосферы вблизи поверхности планеты, так и от характеристик самого спутника (от его массы и от площади его поперечного сечения). Моделирующая программа позволяет сравнить влияние атмосферы на спутники с различными значениями отношения массы к площади поперечного сечения, запуская сразу несколько таких спутников из одной точки с одинаковой скоростью.

Когда все необходимые параметры введены, нужно нажать кнопку «Добавить» (Add). При этом к списку добавится новая строка с параметрами, значения которых в данный момент отображены в окнах ввода.

Если Вы намереваетесь запустить несколько спутников (условия запуска которых отображаются в таблице на панели ввода параметров), программа автоматически выбирает масштаб, позволяющий отобразить все (невозмущенные) траектории в окне на экране. При желании можно отменить такой автоматический выбор масштаба, и выбрать масштаб так, чтобы назначенная Вами определенная орбита наилучшим образом отображалась в окне (при этом другие орбиты могут оказаться частично срезанными границами окна). Для этого нужно снять «галочку» автомасштабирования на панели ввода параметров, и выбрать одну из орбит в списке. Затем нужно нажать кнопку «Масштабировать» (Rescale). В результате программа выберет оптимальный масштаб для отображения назначенной Вами орбиты в окне моделирования.

В панели ввода параметров можно редактировать список назначенных запусков. Чтобы удалить некоторую орбиту из моделирования, нужно отметить соответствующую строчку в списке и нажать кнопку «Удалить» (Remove). Чтобы добавить в список новую орбиту, нужно ввести необходимые параметры в соответствующие окна либо с клавиатуры, либо передвигая движки на размещенных рядом с окнами линейках прокрутки. Затем нужно нажать кнопку «Добавить» (Add). При этом к списку добавится новая строчка с параметрами, значения которых в данный момент отображены в окнах ввода.

Когда введены параметры для всех запусков, которые Вы собираетесь промоделировать в данном эксперименте, нажмите кнопку «Ок». Затем выберите условия моделирования из пункта меню «Опции». Значения этих опций понятны из их названий. Например, «галочка» у опции «Жирные следы» означает, что траектории будут выводиться на экран толстыми линиями; если стоит «галочка» у опции «Автоматический старт», программа автоматически запускает следующий снаряд или спутник после того, как замкнется предыдущая орбита (в случае последовательных запусков); если стоит галочка у «Теоретической траектории», перед началом моделирования будет построена невозмущенная траектория. Последняя опция заставляет программу строить также огибающую орбит при условии, что в подготовленном списке при всех запусках из одной начальной точки снарядам сообщаются равные значения энергии.

При последовательном моделировании нескольких запусков движение по текущей орбите можно дополнительно отобразить в отдельном окне. Чтобы открыть такое окно с увеличенным изображением траектории запуска, моделируемого в данный момент, поставьте «галочку» в пункте меню «Zoom». Положение и размеры этого окна на экране для получения оптимальных условий наблюдения можно менять стандартными средствами.

Программа позволяет также сравнить действительное движение спутника или баллистического снаряда при наличии сопротивления воздуха с соответствующим невозмущенным движением, происходящим под действием только силы тяготения. В любой момент во время моделирования Вы можете заставить программу изобразить на экране эллипс, вдоль которого снаряд продолжал бы дальнейшее движение в отсутствие сопротивления воздуха, начиная с данного момента. Положение и скорость снаряда в этот момент используются как начальные условия для расчета дальнейшего движения. Чтобы включить такую возможность, перед началом моделирования нужно выбрать в меню опцию «Невозмущенная траектория». Когда этот пункт меню отмечен «галочкой», программа строит эллипс невозмущенного движения каждый раз, когда при моделировании Вы нажимаете кнопку «Пауза». При возобновлении моделирования после того, как этот эллипс будет выведен на экран, отличие действительного движения с сопротивлением воздуха от невозмущенного кеплерова движения становится отчетливо видимым.

Пункт меню «Примеры» открывает панель, которая позволяет Вам выбирать из предлагаемого списка заранее подготовленные примеры. Кнопки «Основной набор» и «Расширенный набор» дают возможность переключения между разными наборами примеров. При выборе примера из предлагаемого списка, в окне под списком появляется краткое описание выбранного примера.

Чтобы сразу запустить выбранный пример, сделайте двойной щелчок по его названию. Чтобы предварительно посмотреть значения параметров, ввод которых приводит к моделированию рассматриваемого в примере движения, нажмите кнопку «Ок». При этом открывается панель ввода параметров с уже введенными для данного примера значениями. Нажав кнопку «Ок» на панели ввода параметров, Вы запускаете моделирование.

Чтобы узнать, как самостоятельно создавать и записывать новые примеры, смотрите раздел [«Как создавать новые примеры»](#).

Как выполнять активные маневры

С помощью программы, позволяющей моделировать активные маневры космического корабля, можно проверить, как в действительности будет происходить спланированный и заранее рассчитанный Вами космический полет. При этом Вы будете выполнять миссию либо пилота космического корабля, либо оператора, выполняющего дистанционное управление полетом. Все маневры Вы выполняете, мгновенно изменяя вектор скорости космического корабля.

В моделирующей программе предполагается, что первоначально корабль пристыкован к космической станции, которая обращается вокруг Земли (или какой-либо другой планеты) по круговой орбите. Высота этой орбиты, а также величина дополнительной скорости, которую получит корабль при выполнении активного маневра, должны быть введены предварительно. Эта дополнительная скорость (называемая иногда *характеристической скоростью* маневра), сообщается космическому кораблю сразу после отстыковки от орбитальной станции.

Вам предоставлены на усмотрение два способа выбора момента времени, когда будет включен двигатель для совершения очередного маневра: путем автоматического либо ручного управления. При выборе автоматического управления полетом Вам нужно указать время совершения маневра заранее, впечатывая его в соответствующее окно ввода («Время маневра» на панели ввода параметров) на этапе проектирования полета. Панель ввода можно открыть с помощью соответствующего пункта меню. Отсчет времени начинается с момента начала моделирования.

Вы можете выбрать либо естественные единицы для ввода времени и скорости, а именно, период обращения станции на круговой орбите и скорость ее движения по этой орбите, либо обычные единицы (секунды и километры в секунду соответственно). После того, как Вы ввели значение дополнительной скорости, которая будет сообщена кораблю, и время маневра, нажмите кнопку «Добавить» (“Add”), чтобы включить эти значения в список назначаемых маневров. Направление дополнительной скорости для этого маневра зависит от того, какая из опций («Вверх», «Вниз», «Вперед» или «Назад») была выбрана в рамке «Направление» при включении данного маневра в список. Это направление дополнительной скорости можно задавать либо по отношению к местному горизонту, либо по отношению к вектору мгновенной скорости корабля, в зависимости от выбора опции в рамке «Ориентация».

Таким способом Вы можете назначить заранее любое количество активных маневров для данного полета, добавляя в список требуемые значения величины дополнительной скорости, ее направления и момента времени выполнения маневра. Составленный список можно редактировать путем добавления новых маневров в конце списка, удаления некоторых маневров (для этого нужно отметить соответствующий маневр в списке и нажать кнопку «Удалить» (“Remove”), или путем вставления новых маневров между уже введенными. Чтобы вставить маневр, введите нужную дополнительную скорость и время маневра в соответствующие окна, и списке отметьте маневр, перед которым Вы хотите вставить новый. Затем нажмите кнопку «Вставить» (“Insert”).

Когда список будет готов, нажмите кнопку “Ok”. Программа автоматически выполнит назначенные маневры после того, как Вы выберете опцию «Выполнить» и нажмете кнопку «Пуск».

Для автоматического выполнения маневров по заданной программе необходимо заранее рассчитать момент времени для выполнения каждого маневра. Такая необходимость отпадает при использовании ручного управления. Наблюдая за движением космического корабля на экране компьютера, Вы можете в нужный момент нажать на одну из четырех управляющих кнопок со стрелками, находящихся в верхней части панели окна, в котором отображается движение. Этим Вы даете команду на отстыковку корабля от орбитальной станции и на немедленное сообщение кораблю дополнительной скорости кратковременным включением ракетного двигателя. При моделировании дополнительная скорость сообщается кораблю точно в тот момент, когда Вы нажимаете соответствующую кнопку со стрелкой. Ориентация дополнительной скорости Δv зависит от того, на которую из четырех кнопок Вы нажмете.

Вектор дополнительной скорости Δv лежит в плоскости орбиты и может иметь одну из следующих четырех ориентаций: вверх, вниз, вперед или назад. Эти направления вектора Δv можно задавать либо по отношению к вектору v мгновенной скорости корабля, либо по отношению к местной вертикали в точке выполнения маневра, в зависимости от опции, выбранной Вами перед выполнением маневра. Величина сообщаемой дополнительной скорости определяется тем значением, которое Вы ввели в соответствующее окно ввода параметров перед началом моделирования.

В дальнейшем при выполнении маневров Вы имеете возможность наблюдать за движением корабля и одновременно за движением орбитальной станции, которая продолжает оставаться на прежней околоземной круговой орбите.

На протяжении моделируемого космического полета Вы можете неоднократно выполнять маневры с помощью ручного управления, выбирая каждый раз по своему усмотрению нужный момент и нужное направление для сообщения кораблю дополнительной скорости. Однако величину доба-

вочной скорости для каждого маневра необходимо выбрать заранее и ввести соответствующие значения в список назначенных маневров, используя панель ввода параметров. Делается это точно так же, как и при программировании автоматического маневрирования, с той разницей, что окно ввода момента времени очередного маневра можно оставлять пустым, и можно не обращать внимания на обозначенное направление дополнительного импульса, так при ручном управлении эти параметры зависят от действий оператора, а не от введенных заранее значений. Величина дополнительной скорости для каждого выполняемого оператором очередного маневра берется последовательно из составленного Вами заранее списка.

Если во время выполнения программой в автоматическом режиме последовательности заранее назначенных маневров Вы нажмете одну из управляющих кнопок со стрелками, происходит принудительное переключение в режим ручного управления. Это значит, что программа будет игнорировать назначенные заранее моменты времени и направления дополнительной скорости, ожидая управляющих действий оператора.

Когда весь список назначенных маневров исчерпан (как в автоматическом режиме, так и при ручном управлении), Вы тем не менее можете продолжать маневрирование с помощью ручного управления. В этом случае при последующих нажатиях на управляющие кнопки со стрелками корабль каждый раз получает дополнительную скорость, величина которой была на последнем месте в приготовленном списке.

При использовании ручного управления программа запоминает последовательность выполненных оператором команд. Все их характеристики, включая моменты времени и направления дополнительной скорости, помещаются в список. Впоследствии всю последовательность маневров можно воспроизвести, нажав на кнопку «Рестарт» в рамке «Маневры». Прежде чем воспроизводить последовательность выполненных маневров, Вы можете отредактировать их список и сделать необходимые исправления параметров любого маневра. Для этого нужно воспользоваться панелью ввода параметров, которая открывается при выборе соответствующего пункта меню.

При выполнении моделирования можно открыть дополнительное окно, в котором движение космического аппарата будет показано в другой системе отсчета. Эта дополнительная система отсчета связана с орбитальной станцией. Точнее, эта система связана с вращающейся прямой, соединяющей центр планеты с орбитальной станцией. Это неинерциальная система отсчета, поскольку она равномерно вращается вместе с орбитальной станцией. В этой системе отсчета станция неподвижна: действующая на нее сила притяжения к Земле уравновешена центробежной силой инерции. Про движение космического аппарата относительно этой системы отсчета, изображаемое программой в дополнительном окне, можно сказать, что именно таким это движение будет представляться космонавтам, находящимся на борту орбитальной станции. В необычных условиях орбитального полета навигация совершенно не похожа на то, к чему мы привыкли здесь на Земле, и наша интуиция, выработанная на примерах условий земного окружения, работает плохо. Движение корабля относительно станции, наблюдаемое в дополнительном окне программы, проявляет себя с необычной стороны. Многие его особенности трудно примирить со «здравым смыслом» и нашим повседневным опытом.

Чтобы открыть окно, в котором будет представлено относительное движение, в меню «Zoom» выберите «Относительное движение». Размеры и положение дополнительного окна на экране можно изменять стандартными способами. Если автоматический выбор масштаба для представления движения Вас не устраивает, масштаб можно изменить, воспользовавшись пунктами меню «Rescale», или «Zoom in», «Zoom out». Пункт «Rescale» особенно удобен тогда, когда Вы уже выполнили моделирование и собираетесь повторить его при прежних значениях параметров.

Начать работу с программой рекомендуется с просмотра наборов заранее приготовленных примеров, включенных в программу. Эти примеры иллюстрируют множество возможных маневров на космических орбитах. Чтобы открыть панель со списком примеров, выберите пункт меню «Примеры». На этой панели Вы можете переключаться между основным и расширенным наборами примеров. Последний содержит дополнительные более изощренные примеры. Чтобы запустить пример, отметьте его в списке и нажмите кнопку «Ок». Затем нажмите кнопку «Пуск» на главной панели, чтобы приступить к моделированию. При воспроизведении этих заранее заготовленных примеров нет необходимости вводить какие-либо параметры. В дальнейшем, приобретя некоторый опыт работы с этой программой, Вы сможете создавать свои собственные примеры и сохранять их в дополнительных (модифицированных) наборах. Чтобы узнать, каким образом можно создавать свои собственные наборы примеров, смотрите раздел [«Как создавать новые примеры»](#).

Цели орбитальных маневров могут быть различными. Можно, например, планировать перевод корабля на более высокую круговую орбиту с тем, чтобы он оставался там некоторое время, а затем возвратился к орбитальной станции и совершил с ней мягкую стыковку. Или же мы можем проектировать маневры перевода спускаемого аппарата на эллиптическую орбиту снижения, которая должна привести его на Землю по касательной к поверхности (точнее, по касательной к плотным слоям атмосферы) для совершения мягкой посадки и возвращения экипажа с первоначальной круговой орбиты. Может также возникнуть необходимость запустить автоматический космический зонд с орбитальной станции для исследования поверхности планеты с низкой орбиты или, напротив, запустить зонд на большое расстояние от Земли для изучения межпланетного пространства. Иногда орбиту космического зонда нужно проектировать так, чтобы было возможным его возвращение на орбитальную станцию после выполнения запланированных исследований.

Для планирования таких космических полетов нужно решать разнообразные задачи, связанные с проектированием подходящих орбит. Чтобы перевести космический аппарат на желаемую орбиту, нужно заранее рассчитать величину и направление необходимой дополнительной скорости (*характеристическую* скорость), а также момент времени, когда нужно сообщить аппарату эту скорость. Как правило, такие задачи не имеют единственного решения. Сложность поставленной задачи обусловлена тем, что из множества возможных решений нам нужно выбрать *оптимальный* маневр. Проблема оптимизации может включать множество противоречивых требований и ограничений, касающихся допустимых маневров. Например, может быть поставлено требование минимальных затрат ракетного топлива при дополнительном условии, чтобы возможные ошибки навигации и управления (в частности, ошибки в определении момента времени для совершения маневра) не привели к недопустимым отклонениям действительной траектории от расчетной.

Как работать с программой «Планета со спутником»

Для самостоятельного выполнения моделирующих экспериментов Вам необходимо вводить параметры системы и задавать начальные условия для всех тел, используя панель ввода параметров, которая открывается при выборе соответствующего пункта меню программы. Для двух массивных тел нужно задать отношение их масс и начальную скорость, определяющую характер их относительного движения. По условию эта скорость направлена трансверсально (перпендикулярно отрезку, соединяющему центры тел). Поэтому нужно ввести лишь ее величину, выразив ее в единицах круговой скорости (т.е. скорости, при которой относительное движение этих тел и их движения в системе отсчета центра масс будут круговыми).

Затем Вам нужно ввести начальное положение и скорость спутника. Для этого нужно выбрать одну из следующих трех систем отсчета: либо систему, связанную с планетой (далее мы будем называть ее геоцентрической), либо систему, связанную со звездой (гелиоцентрическую), либо инерциальную систему отсчета, связанную с центром масс системы тел. Которая из этих систем удобнее, зависит от характера задачи, которую Вы собираетесь исследовать. Выбор системы отсчета производится с помощью «радио-кнопок».

Начальное положение спутника задается либо указанием его расстояния от центра планеты-хозяина, либо от звезды, либо от центра масс системы, в зависимости от того, какую Вы выбрали систему отсчета. Это расстояние нужно выразить в единицах начального расстояния между звездой и планетой. Кроме того, нужно указать угол (в градусах), образуемый радиусом-вектором начального положения спутника (проведенным либо из центра планеты, либо звезды, либо из центра масс) с прямой, проведенной от звезды к планете.

Аналогично вводится начальная скорость спутника. Сначала Вы вводите ее величину. Если используется геоцентрическая система отсчета, величина начальной скорости выражается либо в единицах невозмущенной круговой скорости спутника для выбранного начального расстояния его от планеты (т.е. скорости, с которой спутник двигался бы вокруг планеты по круговой орбите в отсутствие звезды), либо в единицах круговой скорости планеты (для заданного начального расстояния между звездой и планетой). Выбор между указанными возможностями делается с помощью соответствующей кнопки, которая появляется, когда окно для ввода скорости получает фокус. Если Вы используете систему отсчета центра масс или геоцентрическую, величина начальной скорости спутника должна выражаться в единицах круговой скорости планеты (в выбранной системе отсчета).

И, наконец, Вам нужно ввести размеры (значения радиусов) звезды и планеты, выраженные в единицах расстояния между центрами звезды и планеты. При моделировании размеры массивных тел могут оказаться существенными в ситуациях, когда траектория спутника проходит очень близко от звезды или планеты. В зависимости от введенных Вами радиусов этих небесных тел спутник может либо благополучно миновать их, либо врезаться в их поверхность.

Когда все эти параметры введены, вы выбираете систему отсчета для отображения движения тел, выставляя «галочку» в соответствующем окне. Можно отображать движение тел одновременно в двух системах отсчета. Затем Вы нажимаете кнопку «Ок», чтобы закрыть панель ввода параметров и приступить к моделированию. Пункт меню «Условия моделирования» позволяет Вам сделать оптимальный выбор. Если, например, в пункте «Метки времени» поставить «галочку», положения тел на экране будут фиксироваться через определенные равные промежутки времени; если «галочку» поставить в пункте «Оскулирующая орбита», программа будет изображать траекторию невозмущенного движения перед началом моделирования и каждый раз, когда Вы будете нажимать кнопку «Пауза».

В процессе моделирования Вы можете переходить от одной системы отсчета к другой или открывать одновременно две системы отсчета, чтобы получить представление о том, как моделируемое движение выглядит для разных наблюдателей. Чтобы сделать это, нужно в пункте меню «Системы отсчета» выбрать пункт «Изменить систему отсчета». Можно также открыть небольшое дополнительное окно для отображения в нем движения спутника относительно звезды или относительно планеты.

При воспроизведении описываемых моделирующих экспериментов можно избежать трудоемкого процесса ввода параметров системы и начальных условий, если воспользоваться наборами заранее заготовленных примеров, поставляемыми вместе с программой. Для выбора примеров нужно открыть панель с их описанием, выбрав в меню программы пункт «Примеры». Можно также создавать новые примеры и наборы примеров, и затем сохранять их в файлах на диске. Чтобы узнать, каким образом можно самостоятельно создавать новые примеры, смотрите раздел [«Как создавать новые примеры»](#).

Как работать с программой «Двойная звезда с планетой»

Для моделирования движения планеты в системе двойной звезды прежде всего нужно ввести параметры системы и начальные условия, используя панель «Ввод параметров», которая открывается при выборе соответствующего пункта меню программы. Для двух звезд системы нужно ввести отношение масс и начальную скорость, которая определяет их относительное движение. По условию эта начальная скорость направлена трансверсально (перпендикулярно прямой, соединяющей звезды). Поэтому достаточно ввести лишь модуль начальной скорости, выразив его в единицах круговой скорости (т.е. скорости, при которой относительное движение звезд, как и их движение в системе центра масс, будет круговым).

Затем нужно задать начальное положение и скорость планеты. Для этого нужно выбрать одну из следующих трех систем отсчета: либо систему, связанную с одной из компонент двойной звезды, либо инерциальную систему отсчета, связанную с центром масс системы тел. Которая из этих систем удобнее, зависит от характера задачи, которую Вы собираетесь исследовать. Например, система центра масс удобна для моделирования внешней планеты, орбита которой охватывает обе звезды. Выбор системы отсчета производится с помощью соответствующих кнопок выбора на панели ввода параметров.

Начальное положение планеты задается либо указанием ее расстояния от центра соответствующей звезды, либо от центра масс системы, в зависимости от того, какую Вы выбрали систему отсчета. Это расстояние нужно выражать в единицах начального расстояния между звездами. Кроме того, нужно указать угол (в градусах), образуемый радиусом-вектором начального положения планеты (проведенным либо из центра соответствующей звезды, либо из центра масс) с прямой, соединяющей звезды.

Аналогично вводится начальная скорость планеты. Сначала вводится ее величина. Если используется система отсчета, связанная с одной из звезд, величина начальной скорости выражается в

единицах невозмущенной круговой скорости планеты для выбранного начального расстояния от соответствующей звезды (т.е. скорости, с которой планета двигалась бы вокруг «своей» звезды по круговой орбите в отсутствие второй звезды). Такие единицы удобны при моделировании внутренней планеты, обращающейся вокруг одной из компонент двойной звезды. Если Вы используете систему отсчета центра масс, величина начальной скорости планеты должна выражаться в единицах круговой скорости планеты, с которой она двигалась бы вокруг центра масс в предположении, что массы обеих звезд сосредоточены в этой точке. Такие единицы скорости удобны при моделировании внешней планеты, орбита которой охватывает обе звезды. Затем вводится направление начальной скорости планеты указанием угла (в градусах), который вектор скорости образует с начальным направлением ее радиуса-вектора.

И, наконец, нужно ввести размеры (значения радиусов) звезд, выраженные в единицах расстояния между их центрами. При моделировании размеры звезд могут оказаться существенными в ситуациях, когда траектория планеты проходит очень близко от одной из звезд. В зависимости от введенных Вами радиусов звезд планета может либо благополучно миновать их, либо врезаться в их поверхность.

Когда все эти параметры введены, вы выбираете систему отсчета для отображения движения тел, выставляя «галочку» в соответствующем окне. Можно отображать движение тел одновременно в двух системах отсчета. Затем Вы нажимаете кнопку «Ок», чтобы закрыть панель ввода параметров и приступить к моделированию. Пункт меню «Условия моделирования» позволяет Вам сделать оптимальный выбор. Если, например, в пункте «Метки времени» поставить «галочку», положения тел на экране будут фиксироваться через определенные равные промежутки времени; если «галочку» поставить в пункте «Оскулирующая орбита», программа будет изображать траекторию невозмущенного движения перед началом моделирования и каждый раз, когда Вы будете нажимать кнопку «Пауза».

В процессе моделирования Вы можете переходить от одной системы отсчета к другой или открывать одновременно две системы отсчета, чтобы получить представление о том, как моделируемое движение выглядит для разных наблюдателей. Чтобы сделать это, нужно в пункте меню «Системы отсчета» выбрать пункт «Изменить систему отсчета». Можно также открыть небольшое дополнительное окно для отображения в нем движения планеты относительно одной или другой звезды.

При воспроизведении описываемых моделирующих экспериментов можно избежать трудоемкого процесса ввода параметров системы и начальных условий, если воспользоваться наборами заранее заготовленных примеров, поставляемыми вместе с программой. Для выбора примеров нужно открыть панель с их описанием, выбрав в меню программы пункт «Примеры». Можно также создавать новые примеры и наборы примеров, и затем сохранять их в файлах на диске. Чтобы узнать, каким образом можно самостоятельно создавать новые примеры, откройте раздел [«Как создавать новые примеры»](#).

Как работать с программой «Система планет»

С помощью моделирующей программы «Система планет» можно исследовать модель Солнечной системы, или создать свою собственную воображаемую планетную систему вместе со звездой, планетами, спутниками планет, кометами, астероидами, и изучить ее движение, происходящее под действием сил взаимного тяготения. Программа дает возможность даже промоделировать гипотетическую ситуацию встречи двух планетных систем и увидеть возможные катастрофические последствия такого «звездного рандеву».

Моделирование движения в программе основано на численном интегрировании дифференциальных уравнений для системы многих тел. При этом принимаются во внимание силы гравитационного взаимодействия между всеми небесными телами. Массы, начальные положения и начальные скорости всех тел могут быть заданы произвольно. Единственное ограничение заключается в том, что в этой программе предусмотрено моделирование только планарных систем, в которых все тела и скорости всех тел лежат в одной плоскости. Это ограничение связано с трудностями визуального восприятия изображений трехмерных систем небесных тел на двумерном плоском экране компьютера.

Моделируемое движение можно отображать либо в «гелиоцентрической» системе отсчета (связанной со звездой), либо в инерциальной системе отсчета, связанной с центром масс всей систе-

мы тел, либо в «геоцентрической» (планетоцентрической) системе отсчета, связанной с одной из планет. Движение системы можно также наблюдать на экране в двух системах отсчета одновременно. Выбор осуществляется с помощью пункта «Системы отсчета» в главном меню программы.

Программа позволяет изменять пространственный и временной масштабы, в которых движение тел отображается на экране. Для изменения временного масштаба предусмотрены управляющие элементы (горизонтальные линейки прокрутки) с надписями «Ускорить» и «Замедлить», движки на которых можно перемещать мышью. Пространственный масштаб можно изменять, выбирая в меню программы пункты «Zoom in» и «Zoom out». При этом масштаб изображения каждый раз соответственно увеличивается либо уменьшается на множитель 1,25. Можно также выбрать некоторую область экрана (где происходят наиболее интересные для нас события) и увеличить ее изображение на весь экран. Для этого нужно при помощи мыши выделить прямоугольник на экране (нарисовав его таким же способом, как это делается в популярных графических редакторах, таких, как Microsoft Paint). После освобождения левой кнопки мыши границы прямоугольника автоматически немного изменятся, чтобы его стороны стали пропорциональны соответствующим сторонам окна, в котором отображается движение. После этого можно передвинуть мышью этот прямоугольник в другое положение, чтобы точнее задать область экрана для просмотра в увеличенном масштабе. (Отказаться от сделанного выделения можно щелчком левой кнопки где-либо вне этого прямоугольника.) Чтобы растянуть выделенную область на весь экран, можно либо выбрать «Zoom in» в меню программы, либо просто сделать двойной щелчок мышью внутри выделенного прямоугольника. Если движение отображается сразу в двух окнах (в двух системах отсчета), такой выбор области для увеличенного изображения можно сделать либо в одном из окон, либо независимо в каждом окне.

Когда программа моделирует систему трех и более тел, их движение может быть очень сложным. В процессе эволюции система может придти к конфигурации, которая лишь отдаленно напоминает или даже совсем не напоминает начальную. В общем случае начальное состояние системы никогда не повторяется. Однако эта сложная эволюция системы обратима, поскольку движение консервативной системы симметрично к обращению времени. Программа позволяет при моделировании движения продемонстрировать обратимость во времени эволюции системы. В меню «Условия моделирования» есть пункт «Обращение скоростей» (или пункт «Реверс» в меню, всплывающем при нажатии правой кнопки мыши), при выборе которого программа одновременно обращает направления скоростей всех тел системы. После этого можно наблюдать, как тела движутся в обратном направлении по тем же самым траекториям, и система развивается в направлении своего начального состояния. Если, допустим, начальное состояние характеризуется симметричной конфигурацией, в процессе движения рано или поздно эта симметрия, как правило, утрачивается. Однако наблюдаемая во всех случаях эволюция системы в направлении менее симметричных конфигураций не является внутренним свойством системы: моделирующие эксперименты с обращением скоростей совершенно ясно показывают, что динамические законы движения допускают также и эволюцию в направлении более симметричных конфигураций. Разумеется, подобные случаи эволюционного развития следует трактовать как чрезвычайно редкие и невероятные, потому что они требуют очень специфичных начальных условий.

Обратимость движения во времени нарушается в случаях столкновений тел, потому что программа интерпретирует такие события как абсолютно неупругие удары, в результате которых происходит соединение сталкивающихся тел в одно небесное тело.

Чтобы ввести параметры моделируемой системы, нужно открыть специальную панель, выбрав в меню программы пункт «Ввод данных». На этой панели показано начальное расположение планет и список, в котором приведены значения масс всех планет, расстояний от звезды и скоростей планет для начальной конфигурации. Если Вы собираетесь создать совершенно новую модель, нажмите кнопку «Очистить» (Clear), чтобы удалить все планеты из имеющегося списка. После этого для вновь создаваемой модели нужно ввести массу первой из планет (будем называть ее «Землей»), выраженную в единицах массы звезды, и начальное расстояние планеты от звезды в астрономических единицах, т.е. в единицах среднего расстояния от Земли до Солнца, угловое положение планеты (в градусах), ее начальную скорость (в единицах невозмущенной круговой скорости, т.е. скорости, с которой эта планета двигалась бы вокруг звезды в отсутствие других планет), направление начальной скорости планеты (угол, образуемый вектором скорости с радиусом-вектором планеты), и радиус планеты (в единицах радиуса звезды). Эти параметры можно вводить в соответствующие окна панели ввода в любой последовательности. Когда введены значения всех параметров данной планеты, нужно нажать кнопку «Добавить», и планета с такими параметрами появится в списке. Затем эта процедура повторяется для второй планеты, третьей и т.д. При до-

бавлении каждой новой планеты к системе, изображение новой конфигурации планет с их невозможными (оскулирующими) теоретическими орбитами появляется в небольшом окне на панели ввода параметров.

Чтобы выбрать систему отсчета, в которой будет отображаться движение системы, нужно поставить «галочку» в соответствующем боксе. Можно выбрать «гелиоцентрическую» систему отсчета (связанную со звездой), либо инерциальную систему отсчета, в которой центр масс всей системы тел неподвижен, либо «геоцентрическую» систему отсчета, т.е. систему, связанную с одной из планет, а именно, с первой из планет в списке (любую из введенных в список планет можно переместить на первую позицию). Чтобы наблюдать движение сразу в двух системах отсчета, поставьте «галочки» в два бокса. Для перехода к моделированию нажмите кнопку «Ок». Во время моделирования можно переходить от одной системы отсчета к другой с помощью пункта «Системы» в главном меню программы.

Внести изменения в моделируемую систему планет можно с помощью панели «Ввод параметров». Чтобы исключить некоторую планету, достаточно отметить ее в списке и нажать кнопку «Удалить» («Remove»). Добавить к системе новую планету (или несколько планет) можно с помощью описанной выше процедуры. Если Вам нужно модифицировать один или несколько параметров планеты, уже имеющейся в списке, отметьте ее в списке двойным щелчком. Тогда в окнах ввода параметров будут отображаться значения, соответствующие этой планете (когда Вы открываете панель ввода, в окнах отображаются значения параметров, соответствующие первой планете в списке). После ввода новых (модифицированных) значений параметров для данной планеты нужно нажать кнопку «Добавить» («Add»), и планета с новыми параметрами появится в конце списка (добавляемая планета всегда появляется в конце списка). Когда Вы намереваетесь только изменить параметры существующей планеты, а не ввести новую планету в систему, то планету с неизменными параметрами следует удалить из списка описанным выше способом. И если Вы не внесли изменений в начальное положение планеты, то Вам следует удалить из списка планету с немодифицированными параметрами до того, как Вы нажмете кнопку «Добавить», потому что невозможно поместить две планеты в одну точку пространства.

С помощью пункта меню «Примеры» можно открыть панель, в которой приводится список заранее заготовленных примеров, поставляемых вместе с программой. Кнопки «Основной набор» и «Расширенный набор» позволяют переключаться между двумя наборами примеров. При выборе какого-либо примера из списка, его краткое описание появляется в расположенном ниже окне. Чтобы сразу начать моделирование, сделайте двойной щелчок на выбранном примере. Если Вы хотите предварительно просмотреть параметры системы для выбранного примера, нажмите кнопку «Ок», в результате чего откроется панель ввода параметров со списком планет системы. Запустить выбранный пример (начать моделирование) можно, нажав кнопку «Ок» на панели ввода параметров.

Чтобы создать свой собственный пример (и сохранить его в файле на диске), в панели «Примеры» среди доступных наборов нужно выбрать «Модифицируемый набор». При этом становится доступен пункт «Редактировать» в меню панели примеров. Этот пункт позволяет Вам модифицировать существующие наборы примеров, удаляя из них одни примеры и добавляя новые, либо же создавать новые наборы. Выбирая пункт «Редактировать название и комментарий», можно изменить название и текст описания, не изменяя параметров моделируемой в этом примере системы. Пункты меню «Удалить пример», «Переместить вверх», «Переместить вниз» позволяют организовать набор в соответствии с Вашими потребностями. Чтобы добавить в набор новый пример, нужно прежде всего сконструировать свою планетную систему (с помощью панели «Ввод параметров», как было описано выше), выполнить моделирование и при этом выбрать опции, обеспечивающие оптимальные условия наблюдения моделирования. Затем нужно открыть панель «Примеры» и в меню «Редактирование» выбрать пункт «Создать новый пример». Программа предложит Вам ввести для нового примера название и снабдить его кратким описанием, которое в дальнейшем будет появляться при просмотре созданных Вами наборов примеров. Нажав кнопку «Ок», Вы добавляете новый пример в конец списка. Пункт меню «Переместить вверх» (и «Переместить вниз») позволит Вам поместить пример в должном месте списка. Чтобы сохранить модифицированный или вновь созданный набор примеров, выберите «Сохранить» в меню панели примеров. Программа предложит Вам ввести название для сохраняемого набора примеров (это название будет появляться в дальнейшем, когда Вы будете открывать набор), а также имя файла (и путь для него на диске), в котором будет сохранен набор примеров. Можно создать любое количество наборов. Чтобы впоследствии открыть любой из них, в меню панели «Примеры» нужно выбрать пункт «Открыть примеры» и найти желаемый набор по имени файла, в котором он был сохранен.

Как создавать новые примеры

Работая с программами «Баллистические снаряды и спутники», «Активные маневры на орбитах», «Планета со спутником», «Двойная звезда с планетой», «Система планет», с помощью пункта меню «Примеры» можно открыть панель, в которой приводится список заранее заготовленных примеров, поставляемых вместе с программой. Кнопки «Основной набор» и «Расширенный набор» позволяют переключаться между двумя наборами примеров. При выборе какого-либо примера из списка, его краткое описание появляется в расположенном ниже окне. Чтобы сразу начать моделирование, сделайте двойной щелчок на выбранном примере. Если Вы хотите предварительно просмотреть параметры системы для выбранного примера, нажмите кнопку «Ок», в результате чего откроется панель ввода параметров со списком планет системы. Запустить выбранный пример (начать моделирование) можно, нажав кнопку «Ок» на панели ввода параметров.

Чтобы создать свой собственный пример (и сохранить его в файле на диске), в панели «Примеры» среди доступных наборов нужно выбрать «Модифицируемый набор». При этом становится доступен пункт «Редактировать» в меню панели примеров. Этот пункт позволяет Вам модифицировать существующие наборы примеров, удаляя из них одни примеры и добавляя новые, либо же создавать новые наборы. Выбирая пункт «Редактировать название и комментарий», можно изменить название и текст описания, не изменяя параметров моделируемой в этом примере системы. Пункты меню «Удалить пример», «Переместить вверх», «Переместить вниз» позволяют организовать набор в соответствии с Вашими потребностями.

Чтобы добавить в набор новый пример, нужно прежде всего разработать собственный проект запусков спутников или космического путешествия (в программе «Баллистические снаряды и спутники»), или активного маневрирования (в программе «Активные маневры на орбитах»), или сконструировать свою планетную систему (в программе «Система планет») с помощью панели «Ввод параметров», выполнить моделирование и при этом выбрать опции, обеспечивающие оптимальные условия наблюдения моделирования. Затем нужно открыть панель «Примеры» и в меню «Редактирование» выбрать пункт «Создать новый пример». Программа предложит Вам ввести для нового примера название и снабдить его кратким описанием, которое в дальнейшем будет появляться при просмотре созданных Вами наборов примеров. Нажав кнопку «Ок», Вы добавляете новый пример в конец списка.

Пункт меню «Переместить вверх» (и «Переместить вниз») позволит Вам поместить пример в должном месте списка. Чтобы сохранить модифицированный или вновь созданный набор примеров, выберите «Сохранить» в меню панели примеров. Программа предложит Вам ввести название для сохраняемого набора примеров (это название будет появляться в дальнейшем, когда Вы будете открывать набор), а также имя файла (и путь для него на диске), в котором будет сохранен набор примеров. Можно создать любое количество наборов. Чтобы впоследствии открыть любой из созданных Вами и сохраненных на диске наборов примеров, в меню панели «Примеры» нужно выбрать пункт «Открыть примеры» и найти желаемый набор по имени файла, в котором он был сохранен.

Как распечатать орбиты и траектории

Чтобы вывести на принтер полученные при моделировании траектории, в меню «Файл» выберите пункт «Печать». Откроется специальная панель для настройки принтера и выбора установок. Вы можете задать желаемую ширину и высоту выводимого на бумагу рисунка и размеры полей на листе. Используйте привычные Вам единицы (сантиметры, дюймы, пункты или пиксели – выбор можно сделать с помощью соответствующих кнопок. Задайте также толщину линий (в пикселях) для изображения траекторий. При желании можно на листе бумаги сверху напечатать заголовок (общий для всех рисунков, помещаемых на этот лист), а под каждым рисунком – отдельную подпись. Для этого нужно впечатать желаемые тексты заголовка и подписей в соответствующие текстовые окна панели настройки печати. Рисунок можно также снабдить легендой (пояснением условных обозначений). Можно также выбрать опцию вывода на печать значений параметров моделируемой системы (программа печати поместит их под соответствующим рисунком).

Когда все установки сделаны, нажмите кнопку «Начать ...». На панели появится приглашение «Продолжить ...», после чего Вы возвращаетесь в главное окно программы и выполняете моделирование движения, траектории которого Вы хотите вывести на печать. Выбранные Вами условия моделирования (метки времени, жирные следы и т.п.) будут также использованы при печати рисунка. Когда при моделировании наступит последний момент движения тел, который Вы хотите включить в распечатываемый рисунок, нажмите кнопку «Закончить ...» на панели «Печать», чтобы сохранить полученное при моделировании изображение в памяти компьютера.

Можно поместить несколько рисунков на одном листе бумаги. Чтобы ввести в память компьютера следующий рисунок для помещения на этот же лист бумаги, вместо кнопки «Послать на принтер», Вы возвращаетесь в главное окно программы и вводите новые значения параметров моделируемой системы (используя панель ввода параметров), и снова выбираете пункт «Печать ...» в меню «Файл». Затем вводите установки для печати нового рисунка (оставшееся на листе бумаги свободное место, доступное для нового рисунка, программа укажет под окном «Высота»), снова нажимаете кнопку «Начать ...» и повторяете действия, которые Вы выполняли при вводе в память компьютера предыдущего рисунка. Когда все рисунки для текущего листа бумаги введены в память, остается послать их на принтер нажатием кнопки «Послать на принтер».

В программах «Планета со спутником», «Двойная звезда с планетой» и «Система планет» для распечатки траекторий порядок Ваших действий должен быть несколько изменен: нужно сначала выполнить моделирование движения (в выбранной системе отсчета) до того последнего момента, который Вы хотели бы отобразить на распечатываемом рисунке, и лишь после этого выбрать «Печать ...» в меню «Файл».

Вместо вывода рисунков непосредственно на принтер, Вы можете записать числовые данные, полученные в ходе моделирующего эксперимента, в ASCII файл для использования их в дальнейшем. Чтобы сделать это, поставьте «галочку» в боксе «Печать в ASCII файл» на панели настроек печати, введите имя файла, в который будут записаны данные, и нажмите кнопку «Начать ...». Затем вернитесь в главное окно программы и выполните моделирование. Когда будет достигнут нужный Вам последний момент моделирования, нажмите кнопку «Послать на принтер», чтобы послать данные в файл. Впоследствии по этим данным Вы сможете строить графики и траектории, используя какие-либо подходящие для этой цели программные продукты.