

Санкт-Петербургский государственный университет  
Физический факультет

**БУТИКОВ Е.И.**

## **Движение космических тел**

*Комплекс компьютерных  
моделирующих программ и  
методических материалов*



Санкт-Петербург

2004

# АННОТАЦИЯ

Комплекс «ДВИЖЕНИЕ КОСМИЧЕСКИХ ТЕЛ» состоит из учебных моделирующих компьютерных программ и методических материалов, цель которых – помочь студентам лучше понять и изучить фундаментальные законы физики и различные математические методы исследования при их применении к движениям небесных тел. Захватывающий воображение мир движений естественных и искусственных космических тел – это замечательная космическая лаборатория, где все явления разыгрываются в наиболее «чистом» виде, не осложненном побочными факторами вроде трения и сопротивления воздуха, неизбежными в земных лабораторных условиях. Здесь можно получить самые впечатляющие опытные подтверждения основных законов классической динамики. Изучаемое движение планет и спутников можно наблюдать непосредственно на экране компьютера в определенном масштабе времени, выбранном из требования удобства наблюдения. Одновременно программы строят траекторию исследуемого движения. Компьютерное моделирование позволяет собственными глазами увидеть то, что, казалось бы, нам не дано никогда созерцать воочию. Оно создает наглядную легко запоминающуюся динамическую картину изучаемых явлений и описывающих их законов.

Некоторые из программ комплекса имеют демонстрационный характер и не требуют от студента каких-либо активных действий и предварительной подготовки. Однако большинство программ – это своего рода *вычислительный эксперимент*, для выполнения которого учащийся должен самостоятельно сделать необходимые расчеты, выбрать нужный режим работы и ввести с клавиатуры значения тех или иных параметров моделируемой системы и начальных условий. Поэтому комплекс представляет собой своего рода настольную исследовательскую лабораторию компьютерного моделирования, дополняющую традиционные формы преподавания (т.е. лекции, семинары, физическую лабораторию) курса физики. Компьютерные эксперименты дают возможность студентам легче освоить фундаментальные принципы физики и исследовать явления, изучение которых традиционными методами затруднительно, если вообще возможно.

Программы комплекса моделируют движения тел в центральном поле тяготения, строят годограф вектора скорости в кеплеровом движении; показывают прецессию орбиты спутника при искажении формы планеты, а также влияние атмосферы планеты на эволюцию орбиты спутника. Возможно построение семейств траекторий и исследование их свойств. Программа активного маневрирования позволяет моделировать спланированный космический полет, движение запущенного с орбитальной станции космического зонда с последующим возвращением на станцию, относительное движение тел на орбитах, и многое другое.

На примере движения компонент двойной звезды в разных системах отсчета рассмотрена задача двух тел. Самые удивительные эффекты в небесной механике проявляются при исследовании задачи трех (и многих) тел, тяготеющих друг к другу. Система трех (и более) взаимодействующих тел моделируется в нескольких программах комплекса. В частности, моделируется движение планеты в системе двойной звезды, взаимные возмущения планет, обращающихся вокруг одиночной звезды, «космические катастрофы» с захватом или обменом планетами при сближении двух планетных систем, и многое другое. Наряду с моделированием реальной планетной системы (Солнечной системы), можно построить собственную систему с произвольным числом планет, спутников, астероидов, комет, и наблюдать ее эволюцию.

В движениях небесных тел можно найти примеры хаотического поведения, когда в простой динамической системе, подчиняющейся простым и строгим детерминистическим законам, движение становится нерегулярным, хаотическим. Компьютерное моделирование позволяет продемонстрировать примеры такого динамического хаоса, когда малейшее изменение параметров системы или ее начального состояния радикально сказывается на долговременном поведении. В то же время программы дают возможность воспроизвести точные частные решения задачи трех тел (лагранжевы точки либрации) и многих тел в симметричных конфигурациях. В таких решениях все тела синхронно совершают регулярные движения по геометрически подобным коническим сечениям, как если бы каждое из тел находилось в статическом центральном поле тяготения (несмотря на то, что на каждое тело действуют силы тяготения со стороны других движущихся тел).

# СОСТАВ КОМПЛЕКСА

Учебный комплекс «ДВИЖЕНИЕ КОСМИЧЕСКИХ ТЕЛ» (лаборатория компьютерного моделирования) включает в себя пакет интерактивных моделирующих компьютерных программ, учебные и методические пособия для студентов, а также дополнительные методические материалы в помощь студенту и преподавателю.

1. Пакет компьютерных программ «ДВИЖЕНИЕ КОСМИЧЕСКИХ ТЕЛ». Минимальные системные требования: PC с процессором 200 МГц, 64 RAM оперативной памяти, разрешение экрана 1024×768, операционная система Microsoft Windows 95/98/Me/NT/2000/XP. Для установки программ нужно распаковать файл [PlanetsR.zip](#) во временную папку на локальной машине и запустить стандартную процедуру инсталляции (файл setup.exe).
2. Учебные и методические пособия для студентов:
  - [Как пользоваться программами «ДВИЖЕНИЕ КОСМИЧЕСКИХ ТЕЛ»](#) (14 стр.). Описание интерфейса и возможностей моделирующих программ. Файл How\_To.pdf
  - Статья [«Движение космических тел в компьютерных моделях. I. Задача Кеплера»](#) (18 стр.). Файл Motion\_1.pdf
  - Статья [«Движение космических тел в компьютерных моделях. II. Задача многих тел»](#) (17 стр.). Файл Motion\_2.pdf
  - [Учебное пособие «ЗАКОНОМЕРНОСТИ КЕПЛЕРОВЫХ ДВИЖЕНИЙ»](#) (42 стр.). В пособии приведены теоретические сведения, необходимые студентам для решения задач и самостоятельной работы с пакетом программ «Движение космических тел». Файл Background.pdf
  - Методические рекомендации к отдельным моделирующим программам комплекса:
    1. [Баллистические снаряды и спутники](#) (7 стр.). Файл Missiles.pdf
    2. [Активное маневрирование на космических орбитах](#) (9 стр.). Файл Manoeuvres.pdf
    3. [Задача трех тел](#) (14 стр.). Файл Three-body.pdf
    4. [Система планет – задача многих тел](#) (13 стр.). Файл Many-body.pdf
  - [Вопросы для самоконтроля к моделирующим программам «Движение космических тел»](#) (7 стр.). Файл Questions.pdf
  - [Задачи для самостоятельного решения](#) (9 стр.). Приведены материалы, предназначенные для индивидуальных заданий студентам по указанию преподавателя. Файл Problems.pdf
  - [Темы для курсовых работ по физике](#). Файл Themes.html
3. Дополнительные методические материалы в помощь студенту и преподавателю:
  - [Годограф скорости в произвольном кеплеровом движении](#) (статья на англ. языке) Файл Hodograph.pdf
  - [Относительное движение орбитальных тел](#) (статья на английском языке). Файл Relative.pdf
  - [Семейства кеплеровых орбит](#) (статья на англ. языке). Файл Families.pdf
  - [Регулярные движения в классических системах многих тел](#) (статья на англ. языке). Файл Many-body\_Systems.pdf
  - [Динамическая картина океанских приливов](#) (статья на англ. языке). Файл Tides.pdf
4. Следующие программы (Java-апплеты) доступны при наличии подключения к Internet. Программы выполняются непосредственно в web-браузере.
  - [Коллекция замечательных движений в системе многих тел](#).
  - [Океанские приливы](#).